



**Susana Vanessa Neves Mateus**

## **Construção Sustentável - Materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil - Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Miguel José das Neves  
Pires Amado, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri

Presidente: Prof. Doutor Nuno Manuel da Costa Guerra  
Arguente: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues  
Vogal: Prof. Doutor Miguel José das Neves Pires Amado



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Janeiro de 2012**



# **Construção Sustentável - Materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios**

“Copyright” de Susana Vanessa Neves Mateus, FCT/UNL e UNL

"A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor".



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos os que me apoiaram e contribuíram para a realização desta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Doutor Miguel Amado, pela sugestão do tema e pela orientação dada ao longo de todo o trabalho. Agradeço o tempo despendido na partilha e passagem de conhecimentos e pela sua disponibilidade.

Ao Professor Doutor Vasco Rato, pela sua disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Ao José Roque, pelo carinho e incentivo, pela sua paciência (e impaciência) e companhia demonstrados ao longo do meu percurso universitário.

Aos meus pais, irmã e amigos pelo esforço, dedicação e preocupação, e por me acompanharem ao longo da vida.

Aos meus colegas e amigos de curso, pelo companheirismo, pelo incentivo, pela amizade e troca de conhecimentos ao longo de todos estes anos de curso, em especial à Inês Rosa, ao João Grilo, ao Miguel Ganhão e à Vanessa Lucas.

A todas as empresas contactadas, pela disponibilidade na entrega de informação e a ajuda prestada.



## RESUMO

O aquecimento global, o aumento da poluição sobre o meio ambiente e a elevada produção de resíduos, assim como o alto ritmo de exploração e destruição dos recursos naturais, são impactos negativos resultantes das actividades humanas. Esta situação tem motivado atenções na sociedade para uma maior tomada de consciência sobre a fragilidade do Planeta e do seu ecossistema.

O sector da construção não é alheio a este fenómeno dado ser uma das actividades com grande impacto sobre o meio ambiente, em resultado dos elevados índices de emissões de poluentes, consumo de energia e do consumo excessivo de recursos naturais não renováveis. Por outro lado, a falta de eficiência dos edifícios e a procura de um maior nível de conforto no interior dos edifícios tem resultado num aumento do consumo energético associado ao parque construído.

Mostra-se deste modo necessário alterar as práticas de concepção e construção dos edifícios, de modo a tornar a actividade da construção mais sustentável e reduzir os impactos ambientais que lhe estão associados.

A presente dissertação tem como objectivo o estudo de materiais de construção que possam contribuir para a redução dos impactos dos edifícios através do realçar da importância da utilização de materiais eco-eficientes nos edifícios, de modo a que contribuam para a melhoria do desempenho energético dos mesmos e que, ao mesmo tempo, contribuam para uma maior e evidente eficiência energética.

Tendo por base a pesquisa desenvolvida e com recurso ao *software EnergyPlus*, efectuou-se uma simulação de uma unidade autónoma de habitação de um edifício multifamiliar, como modo de analisar o seu comportamento térmico através de diferentes soluções construtivas e diferentes materiais de construção aplicados nos elementos da envolvente exterior.

O contributo alcançado reflecte a poupança energética associada à redução dos consumos de climatização alcançada pela maior eficiência do sistema construtivo e dos materiais utilizados e que na análise de custo-benefício desenvolvida com base no período de retorno de investimento e na sua correspondência à mitigação dos impactos ambientais se demonstrou.

**Palavras-chave:** Construção sustentável, Desempenho ambiental, Eficiência energética, *EnergyPlus*, Materiais eco-eficientes





## ABSTRACT

The global warming, the increase of environmental pollution, the high production of residues, as well as the massive exploitation and destruction of natural resources, are some of the negative impacts of human actions. This situation has led to social awareness and a greater conscience of how fragile Planet Earth and its eco-system are.

The construction sector have a greater impact on the environment, due to the high levels of pollutant emissions and energy and non-renewable resources consumption. On the other hand, with poor quality building construction, the need for good levels of interior comfort has led to an increase the use of energy in buildings. Therefore it is essential to change the way buildings are design and build in a way to put the activity more sustainable.

This dissertation aims how building materials may contribute towards a reduction of the environmental impacts of building sector and to the growth of energy efficiency of buildings. Also aims to reinforce the importance of using eco-efficient materials in buildings, as a way to contribute towards a better energy performance. These types of materials are designated eco-efficient materials.

By taking up previous research and using the *EnergyPlus* software, have been simulated an *celula* of a multi-flat building, with the purpose to analyze its thermal performance, considering the use of different building solutions and construction materials.

The contribution of the study can be verified truth the energy savings associated with the reduction of the use of air conditioning. This issue becomes evident in the cost-benefit analysis developed based on the investment payback period and its relation to the mitigation of environmental impacts.

**Keywords:** Sustainable building construction, Environmental performance, Energetic efficiency, EnergyPlus, Eco-efficient materials



# ÍNDICE DE MATÉRIAS

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objectivo do trabalho .....	2
1.2 Metodologia .....	3
1.3 Estrutura do trabalho .....	3
<b>2. ESTADO DO CONHECIMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1 A gestão sustentável dos recursos no sector da construção.....	7
2.2 O desempenho energético dos edifícios de habitação .....	9
2.3 O quadro de referência legal Português aplicável – RCCTE .....	15
2.4 Vantagens e desvantagens da aplicação do RCCTE face ao desempenho energético dos edifícios .....	17
2.5 Os instrumentos para a avaliação do desempenho dos edifícios .....	18
2.5.1 <i>Interesse e vantagens na avaliação do nível de desempenho dos edifícios</i> .....	18
2.5.2 <i>A aplicação do RCCTE como instrumento para a avaliação</i> .....	19
2.5.3 <i>Os sistemas de certificação da construção sustentável</i> .....	21
2.5.3.1 BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method	
22	
2.5.3.2 LEED - Leadership in Energy& Environmental Design do United States Green Building Council.....	24
2.5.3.3 CASBEE - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency.....	28
2.5.3.4 NABERS - National Australian Buildings Environmental Rating System.....	29
2.5.3.5 BEPAC - Building Environmental Performance Assessment Criteria .....	31
2.5.3.6 HQE - Haute Qualité Environnementale dès Bâtiments .....	32
2.5.3.7 LiderA - Sistema voluntário para avaliação da construção sustentável .....	34
2.5.3.8 GBC - Green Building Challenge .....	37
2.5.3.9 Síntese.....	39
2.6 A utilização da ferramenta <i>EnergyPlus</i> para avaliação do desempenho do edifício	44
2.7 Vantagens da utilização de modelos dinâmicos para a avaliação de desempenhos .	46
<b>3. MATERIAIS ECO-EFICIENTES.....</b>	<b>49</b>

3.1	Os materiais eco-eficientes.....	49
3.2	Análise do ciclo de vida dos materiais .....	54
3.3	Materiais.....	57
3.3.1	<i>Terra</i> .....	57
3.3.2	<i>Pedra</i> .....	59
3.3.3	<i>Madeiras</i> .....	60
3.3.4	<i>Tintas, vernizes e óleos</i> .....	62
3.3.5	<i>Isolantes térmicos e acústicos</i> .....	63
3.3.6	<i>Telhas</i> .....	67
3.3.7	<i>Borracha e plásticos</i> .....	67
3.3.8	<i>Revestimentos</i> .....	68
3.3.9	<i>Impermeabilizantes</i> .....	69
3.3.10	<i>Gessos</i> .....	69
3.3.11	<i>Cimentos</i> .....	70
3.3.12	<i>Argamassas</i> .....	71
3.3.13	<i>Tijolos</i> .....	72
3.3.14	<i>Betões</i> .....	72
3.3.15	<i>Metais</i> .....	73
3.3.16	<i>Vidro</i> .....	74
3.4	Síntese do capítulo .....	74
<b>4.</b>	<b>AVALIAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>95</b>
4.1	Objectivo do estudo.....	95
4.2	Descrição e caracterização do objecto de estudo .....	95
4.3	Sistemas construtivos .....	96
4.3.1	<i>Envolvente exterior</i> .....	96
4.3.2	<i>Envolvente interior</i> .....	97
4.3.3	<i>Laje entre pisos</i> .....	102
4.3.4	<i>Envidraçados exteriores</i> .....	102
4.4	Aplicação do RCCTE – obtenção do nível de desempenho.....	103
4.4.1	<i>Dados climáticos</i> .....	103
4.4.2	<i>Levantamento dimensional das envolventes</i> .....	104
4.4.3	<i>Verificação dos requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmico</i> .....	104
4.4.4	<i>Necessidades energéticas</i> .....	105
4.4.4.1	<i>Necessidades de aquecimento</i> .....	105
4.4.4.2	<i>Necessidades de arrefecimento</i> .....	106
4.5	Modelação através da ferramenta <i>EnergyPlus</i> .....	106
4.5.1	<i>Campos de entrada de valores do EnergyPlus</i> .....	107
4.5.2	<i>Pressupostos para a estação de aquecimento (Inverno)</i> .....	113
4.5.3	<i>Pressupostos para a estação de arrefecimento (Verão)</i> .....	114

4.6	Comparação de resultados - RCCTE vs <i>EnergyPlus</i> .....	114
4.6.1	<i>Estação de aquecimento (Inverno)</i> .....	115
4.6.2	<i>Estação de arrefecimento (Verão)</i> .....	116
4.7	Propostas de melhoria com base na variação de materiais e sistema construtivo ..	118
4.8	Análise de resultados e sua discussão .....	121
4.8.1	<i>Variação da temperatura interior</i> .....	121
4.8.2	<i>Necessidades energéticas</i> .....	125
4.9	Análise custo-benefício das soluções construtivas .....	126
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>129</b>
5.1	Conclusões gerais .....	129
5.2	Desenvolvimento futuro de trabalho .....	130
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>131</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>
	ANEXO I – Planta da fracção autónoma em estudo .....	135
	ANEXO II – RCCTE .....	136
	<i>Anexo II.1 – Determinação do coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos, <math>\tau</math></i> .....	136
	<i>Anexo II.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico, <math>U</math></i> .....	137
	<i>Anexo II.3 – Factores solares dos vãos envidraçados</i> .....	142
	<i>Anexo II.4 – Inércia térmica</i> .....	146
	<i>Anexo II.5 – Determinação da taxa de renovação horária nominal, <math>R_{ph}</math></i> .....	148
	<i>Anexo II.6 – Folhas de cálculo do RCCTE</i> .....	149
	ANEXO III - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das soluções propostas .....	165
	ANEXO IV - Cálculo dos custos das soluções construtivas .....	167



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estrutura do trabalho .....	4
Figura 2.1 - Cadeia do uso de energia.....	12
Figura 2.2 - Estrutura do sistema BEPAC.....	32
Figura 2.3 - Perfil ambiental mínimo para a certificação do sistema HQE.....	33
Figura 2.4 - Esquema simplificado de obtenção do índice de desempenho ambiental do GBC .	39
Figura 2.5 - Estrutura de funcionamento do <i>EnergyPlus</i> .....	45
Figura 3.1 - Estágios do ciclo de vida do produto.....	55
Figura 3.2 - Fases de uma análise de ciclo de vida .....	56
Figura 4.1 - Definição dos parâmetros de simulação no <i>EnergyPlus</i> .....	107
Figura 4.2 - Definição dos <i>schedules</i> no <i>EnergyPlus</i> .....	109
Figura 4.3 - Definição das soluções construtivas no <i>EnergyPlus</i> .....	110
Figura 4.4 - Representação da fracção autónoma em estudo no <i>EnergyPlus</i> .....	111
Figura 4.5 - Definição dos ganhos internos no <i>EnergyPlus</i> .....	111
Figura 4.6 - Comparação dos ganhos e perdas na estação de aquecimento - RCCTE vs EnergyPlus.....	115
Figura 4.7 - Comparação dos ganhos e perdas na estação de arrefecimento - RCCTE vs EnergyPlus.....	117
Figura 4.9 - Temperaturas médias mensais na estação de aquecimento .....	122
Figura 4.10 - Temperaturas médias mensais na estação de arrefecimento.....	122
Figura 4.11 - Variação da temperatura interior no dia extremo de Inverno (1 de Março) .....	123
Figura 4.12 - Variação da temperatura interior no dia extremo de Verão (10 de Agosto).....	124
Figura 4.13 - Necessidades energéticas da solução base e das soluções propostas.....	125
Figura I.1 - Planta da fracção autónoma em estudo.....	135





## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tipos de energia.....	12
Quadro 2.2 - Áreas e parâmetros de avaliação.....	23
Quadro 2.3 - Classificação do BREEAM.....	24
Quadro 2.4 - Áreas e parâmetros de avaliação do LEED.....	26
Quadro 2.5 - Níveis de certificação LEED.....	27
Quadro 2.6 - Áreas e parâmetros de avaliação do CASBEE.....	29
Quadro 2.7 - Áreas e parâmetros de avaliação do NABERS .....	30
Quadro 2.8 - Áreas de avaliação do BEPAC.....	32
Quadro 2.9 - Áreas e parâmetros de avaliação do HQE.....	33
Quadro 2.10 – Áreas e parâmetros de avaliação do sistema LiderA.....	35
Quadro 2.11 - Áreas e parâmetros de avaliação do GBC.....	38
Quadro 2.12 - Síntese dos sistemas de certificação.....	39
Quadro 2.13 - Critérios de sustentabilidade relacionados com a selecção de materiais .....	43
Quadro 3.1 - Critérios a analisar durante todo o ciclo de vida dos materiais.....	50
Quadro 3.2 - Descrição e aplicação dos materiais de construção eco-eficientes .....	75
Quadro 3.3 - Parâmetros dos materiais de construção eco-eficientes .....	90
Quadro 4.1 - Envolvente exterior (zc).....	96
Quadro 4.2 - Envolvente exterior (ptp) .....	97
Quadro 4.3 - Paredes interiores da FA .....	98
Quadro 4.4 - Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (zc) .....	99
Quadro 4.5 - Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (zc) .....	99
Quadro 4.6 - Parede interior de separação da FA/caixa de elevador.....	100
Quadro 4.7 - Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (ptp) .....	101
Quadro 4.8 - Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (ptp).....	101
Quadro 4.9 - Laje entre pisos .....	102
Quadro 4.10 - Dados climáticos.....	103
Quadro 4.11 - Áreas dos elementos da envolvente exterior.....	104
Quadro 4.12 - Áreas dos elementos da envolvente interior.....	104
Quadro 4.13 - Verificação dos requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmico.....	105
Quadro 4.14 - Necessidades de aquecimento.....	106
Quadro 4.15 - Necessidades de arrefecimento .....	106

Quadro 4.16 - Descrição das soluções construtivas adoptadas - solução 1.....	119
Quadro 4.17 - Descrição das soluções construtivas adoptadas - solução 2.....	120
Quadro 4.18 - Viabilidade económica das propostas estudadas.....	126
Quadro II.1 - Determinação de $A_i$ e $A_u$ .....	136
Quadro II.2 - Determinação do coeficiente $\tau$ .....	136
Quadro II.3 - Coeficiente de transmissão térmico da parede exterior (zc).....	137
Quadro II.4 - Coeficiente de transmissão térmico da parede exterior (ptp).....	137
Quadro II.5 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/zona de circulação comum (zc).....	138
Quadro II.6 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/zona de circulação comum (ptp).....	138
Quadro II.7 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/edifício adjacente (zc).....	139
Quadro II.8 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/edifício adjacente (ptp).....	140
Quadro II.9 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/caixa de elevador.....	140
Quadro II.10 - Coeficiente de transmissão térmico da caixa de estore (ptp).....	141
Quadro II.11 - Factor de obstrução na estação de aquecimento.....	143
Quadro II.12 - Factor de obstrução na estação de arrefecimento.....	145
Quadro II.13 - Valores dos parâmetros para o cálculo da inércia térmica.....	146
Quadro III.1 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 1 (zc).....	165
Quadro III.2 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 1 (ptp).....	165
Quadro III.3 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 2 (zc).....	166
Quadro III.4 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 2 (ptp).....	166
Quadro IV.1 - Custo da solução base.....	167
Quadro IV.2 - Custo dos vãos envidraçados da solução base.....	167
Quadro IV.3 - Custo da solução 1.....	168
Quadro IV.4 - Custo da solução 2.....	168
Quadro IV.5 - Custo dos vãos envidraçados da solução 1 e 2.....	169

## SIGLAS E SÍMBOLOS

ACV – Análise do Ciclo de Vida  
AFNOR – Associação Francesa de Normalização  
AQS – Águas Quentes Sanitárias  
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*  
ASTM – *American Society for Testing and Materials*  
ATEQUE – *Atelier d'Évaluation de la Qualité Environnementale des Bâtiments*  
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado  
BEE – *Building Environmental Efficiency*  
BEES – *Building for Environmental and Economic Sustainability*  
BEPAC – *Building Environmental Performance Assessment Criteria*  
BLAST – *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*  
BRE – *Building Research Establishment*  
BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*  
CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*  
CFC – Clorofluorocarboneto  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
COV – Compostos Orgânicos Voláteis  
DECC – *Department of Environment and Climate*  
DEH – *Australian Department of Environment and Heritage*  
DfE – *Design for Environment*  
DOE – *Department of Energy*  
EPA – *Environmental Protection Agency*  
EPDM – Monómero de Etileno-Propileno-Dieno  
EPI – *Environmental Performance Index*  
EPS – Poliestireno Expandido Moldado  
EUA – Estados Unidos da América  
FA – Fracção Autónoma  
FSC – *Forest Stewardship Council*  
g<sub>⊥</sub> – Factor solar dos vãos envidraçados  
GaBi – *Ganzheitliche Bilanzierung*  
GBC – *Green Building Challenge*  
GEE – Gases com Efeito de Estufa  
HQE – *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*  
iiSBE – *International Initiative for Sustainable Built Environmental*

IPA – Inovação e Projectos em Ambiente

LCA – *Life Cycle Assessment*

LEED – *Leadership in Energy & Environmental Design do United States Green Building Council*

LEED-CI– *Leadership in Energy & Environmental Design for Commercial Interiors*

LEED-CS – *Leadership in Energy & Environmental Design for Core and Shell Development*

LEED-EB – *Leadership in Energy & Environmental Design for Existing Buildings*

LEED-H – *Leadership in Energy & Environmental Design for Home*

LEED-HC – *Leadership in Energy & Environmental Design for Healthcare*

LEED-NC – *Leadership in Energy & Environmental Design for New Construction and Major Renovations*

LEED-ND – *Leadership in Energy & Environmental Design for Neighborhood Development*

LEED-R – *Leadership in Energy & Environmental Design for Retail*

LEED-S – *Leadership in Energy & Environmental Design for Schools*

LiderA – Sistema voluntário para Avaliação da Construção Sustentável

N<sub>ac</sub> – Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias

N<sub>ic</sub> – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

N<sub>tc</sub> – Necessidades globais de energia primária

N<sub>vc</sub> – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

NABERS – *National Australian Buildings Environmental Rating System*

NIST – *National Institute of Standards and Technology*

NO<sub>x</sub> – Óxido de Azoto

PEC – *Primary Energy Consumption*

PFA – Cinzas de Combustível Pulverizadas

PTP – Ponte Térmica Plana

PUCA – *Plan Urbanisme, Construction et Architecture*

PVC – Policloreto de Vinilo

QEB – *Qualité Environnementale du Bâtiment*

R – Resistência térmica

R<sub>ph</sub> – Taxa de renovação de ar

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar nos Edifícios

SMO – *Système de Management de l'Opération*

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

TEAM – *Tools for Environmental Analysis and Management*

U – Coeficiente de transmissão térmico superficial

USGBC – *United States Green Building Council*

XPS – Poliestireno Extrudido Moldado

ZC – Zona Corrente

$\psi$  – Coeficiente de transmissão térmico linear

$\lambda$  – Condutibilidade térmica



# 1. INTRODUÇÃO

Desde sempre, o Homem sentiu a necessidade de satisfazer as suas necessidades básicas mais elementares, procurando proteger-se da agressividade do meio envolvente, com vista à sua sobrevivência. Como tal, o Homem foi criando lentamente um novo mundo que fosse menos agressivo ao seu bem-estar.

Até aos anos 70 do século XIX a protecção ambiental era vista sobretudo de uma perspectiva antropocêntrica [1]. O ambiente era um suporte para a vida humana, uma fonte de matérias-primas e a preocupação com os impactos ambientais centrava-se essencialmente nas consequências que estes teriam nas populações. Assim, a defesa dos valores ambientais era pensada unicamente no sentido da procura de melhores condições para o Homem [1].

Depois desse período, nomeadamente na década de 70 do século passado, as preocupações ambientais passam a fazer parte da agenda política internacional com a "Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente Humano" realizada em Estocolmo, em 1972. Esta foi fruto do pensamento ambiental da época, centrando-se nas questões da poluição, da saúde humana e do Homem [1].

Nos finais dos anos 80, com a percepção crescente dos problemas globais, como o aquecimento global, as questões ambientais passaram a ser vistas de uma forma mais alargada [1].

Desde então, compreendeu-se que os impactos de uma determinada actividade eram resultado de todo um processo produtivo que incide no elevado ritmo de exploração, degradação e destruição dos recursos naturais, uma vez que este era mais acelerado do que a própria capacidade da natureza para os repor. Esse aumento não controlado do consumo dos diversos recursos naturais, assim como dos materiais disponíveis na natureza, estava directamente relacionado com o rápido crescimento da população mundial e com o desenvolvimento da qualidade de vida, levando à degradação do ecossistema, com a contaminação e o esgotamento dos recursos naturais.

O sector da construção é um dos grandes responsáveis pelo impacto ambiental negativo que se faz sentir sobre o planeta, tanto na fase de construção, como na fase de utilização dos edifícios. Alguns dos impactos ambientais de que este sector é responsável são resultantes do consumo excessivo de energia e de água, das elevadas emissões de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), da produção de resíduos e do consumo descontrolado de recursos naturais não renováveis, que resultam na contaminação das águas, solo e ar, desflorestação, desaparecimento de espécies animais e vegetais, etc.

O elevado consumo de energia e água está relacionado com a falta de qualidade dos edifícios de habitação, pois estes não respondem às necessidades exigidas pelos seus utilizadores, tanto ao nível do conforto térmico, como ao nível do conforto acústico, ventilação

interna e qualidade do ar interior, levando assim, a uma procura de melhores condições de conforto e de qualidade de vida, o que na maioria das vezes se traduz em consumos energéticos excessivos e intoleráveis a longo prazo.

Este sector é também responsável pelo excessivo consumo de recursos materiais, o que contribui para o impacto ambiental. Esta situação pode ser invertida através da utilização de materiais mais sustentáveis, ou seja, materiais de origem natural e local, com baixa energia incorporada, com baixas emissões de CO<sub>2</sub>, reutilizáveis e/ou recicláveis.

Deste modo, é visível que nas últimas décadas, a preocupação da humanidade com o futuro do planeta e dos seus recursos naturais tem vindo a aumentar, nomeadamente o modo como a sociedade e o sector da construção os utiliza. No início da década de 90, com a diminuição das reservas de combustíveis fósseis (como o carvão, o petróleo e o gás natural) e com os efeitos sentidos no clima, consequência do aumento dos gases de efeito de estufa, desencadeou-se uma discussão que se tem prolongado até aos dias de hoje. Uma sociedade mais informada despertou para um problema que pode colocar em causa a qualidade de vida das gerações actuais e principalmente das gerações futuras. Existe hoje uma preocupação crescente com os recursos que serão deixados às gerações futuras para que tenham uma qualidade de vida superior ou semelhante à actual. Esta é a base do desenvolvimento sustentável que é, nos dias de hoje, um dos temas mais fortes da agenda mundial, tanto no ponto vista ambiental, como também social e económico.

Assim, a sustentabilidade na construção passa por três medidas essenciais, sendo que a primeira baseia-se na melhoria dos projectos em termos de eficiência energética, diminuindo as necessidades de iluminação, ventilação e climatização artificiais [2]. A segunda, na substituição do consumo de energia convencional por energia renovável, não poluente e gratuita [2]. A terceira, na utilização de materiais locais, preferencialmente materiais de fontes renováveis ou com a possibilidade de reutilização e que minimizem o impacto ambiental (extração, gastos de energia, emissões poluentes, entre outros) [2].

## **1.1 OBJECTIVO DO TRABALHO**

A presente dissertação tem como objectivo a avaliação do comportamento térmico de uma fracção autónoma, de modo a poder identificar-se propostas de melhoria do seu desempenho, quer a nível energético, quer a nível ambiental. Essas propostas de melhoria têm como base a utilização de materiais eco-eficientes na envolvente do edifício. Através da utilização desses materiais, para além de se minimizar os impactos ambientais, também procura-se reduzir a energia necessária para aquecimento e arrefecimento. Desta forma, a sua utilização, para além de constituir uma boa solução no futuro a nível energético e ambiental, também trará



vantagens a nível económico. Assim, será possível melhorar o conforto dos ocupantes da habitação sem despende de grandes quantidades de recursos e energia.

Para se obter estes objectivos são utilizados o RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios) e o *software EnergyPlus*, de modo a se poder avaliar e comparar o desempenho térmico da fracção em estudo. Posteriormente, com auxílio apenas ao *EnergyPlus* será feita uma análise às condições de conforto térmico que as novas soluções construtivas na fracção autónoma em estudo propiciam aos seus habitantes.

Em suma, a presente dissertação pretende contribuir para uma maior sustentabilidade do sector da construção, através da aplicação de materiais sustentáveis nos edifícios, avaliando a poupança energética associada aos mesmos e o custo-benefício da sua aplicação.

## **1.2 METODOLOGIA**

A dissertação incide sobre o tema construção sustentável: materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios. Este trabalho apresenta conteúdos referentes à eficiência energética e regulamentação térmica de edifícios, sistemas de certificação, bem como materiais eco-eficientes, sustentabilidade e consumo de matérias-primas na construção. São também analisados os materiais utilizados na envolvente do edifício em causa, através da regulamentação existente (RCCTE) e do *software EnergyPlus*. No final desta dissertação são apresentados medidas para a melhoria do desempenho térmico do edifício em estudo através da aplicação de materiais eco-eficientes, bem como os seus benefícios e os seus custos.

O trabalho de investigação correspondente a esta dissertação baseia-se numa pesquisa bibliográfica sobre o tema, a qual inclui a consulta de trabalhos realizados anteriormente sobre os vários temas presentes nesta dissertação, livros, bem como fontes disponíveis na internet, garantindo a sua fiabilidade e a credibilidade da informação.

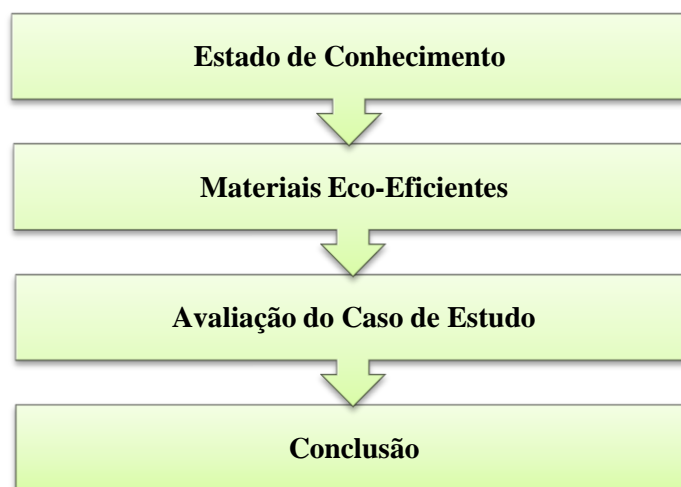
## **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A presente dissertação encontra-se dividida em diferentes capítulos devidamente estruturados com o intuito de expor os conteúdos do trabalho de forma clara.

No presente capítulo é feita uma introdução ao tema e são apresentados os objectivos do trabalho, a sua metodologia e a estruturação geral da dissertação.

Seguidamente, tal como se pode observar a partir do esquema representado na Figura 1.1, a dissertação encontra-se estruturada em três temas principais, os quais correspondem aos

capítulos 2, 3 e 4. Existe também um último tema referente às conclusões, que corresponde ao capítulo 5.



**Figura 1.1 - Estrutura do trabalho**

No segundo capítulo é efectuado o estado de conhecimento, ou seja, é feita uma abordagem teórica aos pontos fulcrais do trabalho em estudo, nomeadamente, à sustentabilidade dos recursos na construção, ao desempenho energético dos edifícios de habitação, ao RCCTE, aos sistemas de certificação ambiental e ao *software EnergyPlus*. Deste modo, é efectuado um estudo sobre o estado actual do sector da construção e da sociedade, de modo a dar a conhecer a relação do sector com o consumo de recursos, assim como criar uma noção do desempenho energético das habitações de hoje.

De seguida é feita uma abordagem ao RCCTE, referindo as suas exigências, as suas vantagens e desvantagens face ao desempenho energético dos edifícios. É ainda feita uma descrição da sua aplicação como instrumento de avaliação, isto é, são descritos quais os edifícios que abrange, quais os índices e parâmetros a quantificar e quais as suas condições de referência, para a elaboração do estudo do comportamento térmico do edifício.

A referência aos sistemas de certificação é feita através da descrição de alguns sistemas de certificação ambientais existentes, com o intuito de se conhecer os pré-requisitos referentes à selecção de materiais de acordo com os critérios ambientais impostos por cada sistema de certificação.

Em relação ao *software EnergyPlus*, é feita uma pequena abordagem ao programa e são descritas as suas vantagens na avaliação de desempenho.

No terceiro capítulo é feito um estudo dos materiais eco-eficientes, onde são referidas algumas ferramentas de análise de ciclo de vida (ACV) que visam auxiliar o processo de

selecção de materiais segundo critérios ambientais. São ainda identificados e descritos alguns materiais eco-eficientes e expostas as suas vantagens e desvantagens.

No quarto capítulo realiza-se a avaliação do caso de estudo, ou seja, é feita a descrição e caracterização do objecto de estudo e descrição dos sistemas construtivos da solução base. Neste capítulo são também apresentados os resultados obtidos tanto pela aplicação regulamentar existente, RCCTE, como pelo *software EnergyPlus*, que posteriormente são comparados e devidamente justificados. Na fase final deste capítulo são apresentadas propostas de melhoria de soluções construtivas com base nos materiais eco-eficientes estudados, sendo os resultados obtidos (resultantes do *software EnergyPlus*) comparados com os da solução base. É ainda efectuada uma análise custo-benefício, onde são referidos os custos de construção das soluções estudadas, a poupança energética e o período de retorno de investimento associado a cada solução proposta.

Por último, no quinto capítulo, expõem-se as conclusões atingidas ao longo da dissertação e propõem-se futuros campos de pesquisa relacionados com a temática da presente dissertação.

Esta dissertação também é composta por quatro anexos, sendo que no anexo I é apresentada a planta de arquitectura da fracção autónoma em estudo.

No anexo II são apresentados alguns cálculos efectuados pelo RCCTE e as respectivas folhas de cálculo.

No anexo III encontram-se os cálculos dos coeficientes de transmissão térmico (U) das soluções propostas.

No anexo IV são apresentados os cálculos dos custos de investimento das soluções construtivas.



## 2. ESTADO DO CONHECIMENTO

### 2.1 A GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS NO SECTOR DA CONSTRUÇÃO

*“O sector da construção pauta a sua actividade por elevados impactos ambientais ao nível da extracção de elevadas quantidades de matérias-primas não renováveis, de elevados consumos energéticos e das consequentes e elevadas emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa.” [3]*

A extracção de recursos naturais requer uma atenção especial no desenvolvimento sustentável, envolvendo aspectos económicos, ambientais e sociais/culturais [4]. Apesar de não se saber quais serão as reservas existentes daqui a 100 anos, é quase certos que a sociedade continuará a necessitar de energia e de uma grande variedade de matérias-primas [4].

Desde sempre, o homem tem recorrido aos recursos naturais, para satisfazer as suas necessidades e melhorar a sua qualidade de vida, e a partir de recursos disponíveis, criou novos e mais recursos ignorando o papel do ciclo natural da vida.

Nos ecossistemas do nosso planeta, há uma troca constante de recursos naturais entre os seres vivos. Enquanto a flora e a fauna são exemplos de recursos naturais renováveis, os minerais, como por exemplo o minério de ferro e o petróleo não o são.

O sector da construção é um grande consumidor de matérias-primas, sendo que a nível mundial, é responsável pelo consumo de 40% dos recursos minerais (pedra, areias, britas e argilas), 25% da madeira e 16% da água consumidos anualmente [4]. No caso das rochas, em bloco ou moídas, areias, britas e argilas, a sua procura continua a aumentar [4]. Os agregados são obtidos através da exploração de pedreiras e areeiros em terra e no mar, mas também podem ser obtidos através da reciclagem de resíduos industriais e de centrais térmicas, o que tornará a construção mais sustentável [4].

Durante a fase de construção de um edifício são consumidos cerca de 50% dos recursos naturais extraídos da natureza, são produzidas grandes quantidades de resíduos (cerca de 50%), e elevadas quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> (30%), derivados da produção, transporte e uso de materiais, contribuindo assim para o efeito de estufa, e ainda, é consumida mais de 40% de energia (nos países industrializados, sendo em Portugal cerca de 20% da energia total do país) [5].

O esgotamento de matérias-primas e dos combustíveis fósseis, a poluição do ar, da água e do solo, juntamente com a reprodução de resíduos, são o resultado da má gestão dos recursos naturais, pois muitos dos recursos são não renováveis e são explorados até à sua exaustão.

A construção sustentável deve, assim, gerir de forma racional e equilibrada os recursos disponíveis, e deve incluir a relação do ciclo de vida dos materiais utilizados com o próprio

ciclo de vida do futuro espaço construído, sendo a selecção dos materiais feita com base numa avaliação da origem da matéria-prima, produção, distribuição, utilização e destino final, pretendendo representar em todas as suas etapas o menor impacto ambiental possível que lhe está implícito. Por exemplo, o petróleo e a madeira, proveniente de florestas geridas de forma não sustentável ou o cobre, são extraídos de reservas limitadas de recursos não renováveis. Outros, como a pedra calcária, existem em maior abundância, mas a sua extracção, processamento e transporte para o local podem implicar uma significativa degradação ambiental. No caso do alumínio, apesar deste ser um material que se encontra facilmente disponível, o seu processo produtivo consome muita energia, mas é, no entanto, um material 100% reciclável.

Nos últimos anos os desastres naturais multiplicaram-se de forma significativa. As alterações climáticas, com elevadas consequências associadas, tais como o degelo, inundações, desertificação, ciclones, e as toneladas de gases de efeito de estufa (GEE) emitidas para a atmosfera, em particular de CO<sub>2</sub>, pela utilização de combustíveis fósseis, e emissões de outros gases provenientes da actividade humana, agravaram o efeito de estufa, desencadeando a necessidade de estabelecer uma política ambiental reguladora do crescimento económico e protectora do ambiente [6]. Este objectivo alcançou notoriedade em 1987, com a publicação do relatório da comissão das Nações Unidas – Relatório de Brundtland, que apresenta e desenvolve o conceito de Desenvolvimento Sustentável introduzindo a consciência social, económica e ambiental, de que devemos deixar às gerações futuras um planeta com, pelo menos, a qualidade que herdámos dos nossos antepassados [6]. Na sua sequência, ocorre em 1992 a Conferência do Rio, na qual mais de 170 países aceitaram transpor para a sua legislação os conceitos inerentes ao Desenvolvimento Sustentável, nomeadamente no que diz respeito à preservação da biodiversidade biológica e dos bosques e às alterações climáticas, tendo o plano para esta transição sido estabelecido num documento intitulado de Agenda 21 [6], [7]. Em 1997 é realizada mais uma conferência, no âmbito da Conferência Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (criada na Conferência do Rio), realizada no Japão, onde os países-membros se comprometem a reduzir gradualmente as suas emissões de GEE, em 5% abaixo dos valores de 1990 [7]. Portugal é um dos países que se comprometeu a baixar as suas emissões de GEE. No entanto, em 2005 aumentou as suas emissões de CO<sub>2</sub> em 36% e as de COV (compostos orgânicos voláteis) em mais de 50% [7].

Desta forma, a questão da sustentabilidade tem de ser uma prioridade nos projectos de construção civil, e deve estar direccionada para a eficiência no consumo de recursos naturais, para a minimização das emissões de dióxido de carbono e deve privilegiar o uso de sistemas construtivos sustentáveis, assim como de materiais ecológicos, recicláveis e/ou reciclados.

## 2.2 O DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

O desempenho energético de um edifício engloba a eficiência energética, o consumo energético, bem como a forma de utilização de energia em uma determinada actividade. Este varia de região para região, integrando, para além do isolamento térmico, outros factores, como as instalações de aquecimento e arrefecimento, a aplicação de fontes de energia renováveis e a concepção dos próprios edifícios, no que se refere ao projecto de construção, aos materiais utilizados e à aplicação dos materiais em obra [8].

Em relação ao projecto de construção, para o bom desempenho energético do edifício, é importante ter em consideração [6]:

- A **localização e orientação solar**: privilegiando a orientação a sul, pois esta orientação é a que mais optimiza os ganhos solares ao longo de todo o ano fazendo com que os edifícios se tornem mais confortáveis, reduzindo em simultâneo, as suas necessidades energéticas, quer em termos térmicos, quer em termos de iluminação. É na estação de Inverno que a radiação solar é mais benéfica. Na estação de Verão, a orientação solar a sul pode dar a origem a um sobreaquecimento do ambiente interior. Neste caso, os vãos envidraçados terão de dotar de um elemento de protecção pelo exterior, pois os ganhos solares no Verão, levam a um aumento das necessidades energéticas;
- As **áreas de envidraçados**: o seu dimensionamento deve ser em função da orientação solar, mas também de acordo com as necessidades de iluminação de cada divisão e deve contribuir para o conforto dos espaços interiores;
- Os **sombreamentos exteriores**: é importante dotar as janelas de um elemento de protecção pelo exterior, de modo a permitir ao utilizador controlar as trocas energéticas com o exterior;
- A **ventilação natural** e o **arrefecimento passivo**: para manter a habitação com boa qualidade de ar interior é necessário promover uma boa ventilação através das renovações de ar a uma taxa adequada. Para um arrefecimento passivo eficiente devem ser aproveitadas as amplitudes térmicas diárias, sendo que no Verão, deve privilegiar-se os períodos mais frescos do dia e da noite;
- A **iluminação**: sempre que possível o projecto deve promover a iluminação natural dos espaços interiores, sem perda do desempenho térmico dos mesmos.

Relativamente aos materiais utilizados e à sua aplicação em obra, numa habitação a energia consumida na climatização vai depender directamente do **isolamento térmico** e da **inércia térmica** do edifício. A inércia térmica é responsável pelo atraso entre o fornecimento de calor e o aumento da temperatura no interior do edifício, sendo especialmente relevante em

climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo (uma das características do clima de Portugal) [6], [2]. São os materiais pesados e maciços (betão, tijolo e reboco) que constituem a inércia térmica dos edifícios, e quando bem aplicados, conferem aos espaços interiores uma maior estabilidade térmica e, consequentemente, um maior conforto [6].

Assim, de forma a aumentar o desempenho energético nas habitações, a conjugação da inércia térmica com o isolamento térmico torna-se essencial. O isolamento térmico previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior do edifício [2]. Este tanto pode ser aplicado no interior das paredes da envolvente de um edifício, ou seja, na caixa-de-ar da parede, como pode ser colocado pelo exterior. Contudo, o isolamento térmico colocado pelo exterior de forma contínua constitui a melhor solução, pois apresenta vantagens, como:

- Correção das pontes térmicas e redução dos riscos de condensação;
- Ausência de descontinuidade na camada de isolamento;
- Diminuição da espessura das paredes exteriores, o que permite obter-se um aumento na área habitável;
- Aumento da inércia térmica interior, para que as temperaturas interiores se mantenham estáveis;
- Melhoria na impermeabilidade das paredes, actuando como uma barreira a humidades provenientes do exterior;
- Aumenta a durabilidade e a integridade física das fachadas, protegendo-as das acções atmosféricas (choque térmico, chuva, radiação solar, etc.), evitando assim a sua fendilhação;
- Possibilita obras na fachada sem perturbar os ocupantes do edifício, uma vez que as intervenções são apenas realizadas pelo exterior.

Este sistema de isolamento pode também ser aplicado na reabilitação de edifícios que não possuam nenhum ou insuficiente isolamento térmico, sem tirar área útil à habitação.

Além deste conjunto de factores, é importante trazer a natureza para as habitações, mesmo que estas se encontrem em espaços urbanos, de modo a enriquecer o cenário das cidades, qualificando o clima urbano e contribuindo para o bem-estar físico e emocional das populações [6]. Isso é possível através da utilização de coberturas verdes.

As coberturas verdes apresentam várias vantagens para o meio ambiente e para o edifício. As suas principais vantagens reflectem-se [6]:

- Numa maior longevidade da cobertura, pois a terra e a vegetação protegem os materiais de construção dos raios ultravioletas;
- Num aumento da eficiência energética nos edifícios pelas suas propriedades isolantes, pois a cobertura verde actua como camada de isolamento térmico suplementar, reduzindo assim os custos de aquecimento e arrefecimento;



- Na melhoria da acústica do edifício;
- No aumento da inércia térmica do edifício.

No que diz respeito aos materiais, devem adoptar-se aqueles que apresentem elevada capacidade de reciclagem e/ou reutilização [9]. Também deve-se ter em conta o consumo de energia, a produção de poluição durante o seu transporte até à obra e a possível poluição do ambiente interior da habitação, devendo a aplicação destes ser realizada de forma a potenciar e facilitar uma futura desconstrução [9].

Relativamente à energia consumida nos edifícios de habitação, grande parte está associada às necessidades de higiene, mais propriamente à utilização de água quente e fria, às necessidades de conforto térmico, como é o caso da climatização, e ainda ao uso de equipamentos de entretenimento (televisão, sistemas de som, entre outros) e equipamentos eléctricos de apoio às tarefas diárias, ou seja, os electrodomésticos, sendo que estas comodidades têm um custo que se traduzem num acréscimo de investimento e, em geral, num maior consumo de energia e consequente aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global [10].

O aumento do conforto e o aumento da posse de equipamentos consumidores de energia levou ao aumento dos consumos energéticos nos edifícios de habitação, sendo grande parte destes consumos associados à electricidade, o que evidencia desde logo a necessidade de uma atenção particular à eficiência energética dos equipamentos consumidores de electricidade como forma de moderação dos mesmos [10]. A compra de electrodomésticos mais eficientes, tanto no uso de energia, como no uso de água, contribui para a optimização do desempenho energético e ambiental da habitação [6]. Hoje, já existe a obrigatoriedade da afixação do respectivo desempenho energético e consumo de água, o que possibilita ao consumidor poder fazer uma escolha mais eficiente. Também a escolha de lâmpadas de baixo consumo é uma das medidas que contribui para a diminuição dos consumos energéticos das habitações e, consequentemente, das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Em 2007, a nível nacional, o sector dos edifícios (doméstico e serviços) representou cerca de 30% dos consumos globais finais do país e cerca de 50% do consumo eléctrico [11]. Estes valores ainda sendo inferiores à média Europeia (cerca de 40% de consumo final e cerca de 60% de consumo eléctrico), têm tendência a aumentar, não só pelo crescimento do parque edificado construído em Portugal nos últimos anos, como também pela procura de melhores condições de conforto térmico nos edifícios e também pelo aumento de mais equipamentos domésticos, muito deles de fraca eficiência energética [11]. O sector doméstico contribuiu com 18% dos consumos de energia final, representando cerca de 28% dos consumos de electricidade, o que demonstra a necessidade de valorizar a eficiência energética, de forma a moderar os consumos [12].

O uso de energia nas sociedades passa geralmente por uma diversas etapas de transformação, que vai desde a sua extracção da natureza (energia primária) até ao momento em que é usada nas habitações (Figura 2.1) [12]. As diversas formas como a energia se apresenta registam-se perdas no processo de transformação de energia primária em energia secundária (Quadro 2.1), no transporte da energia até à habitação, e no próprio uso final [12].

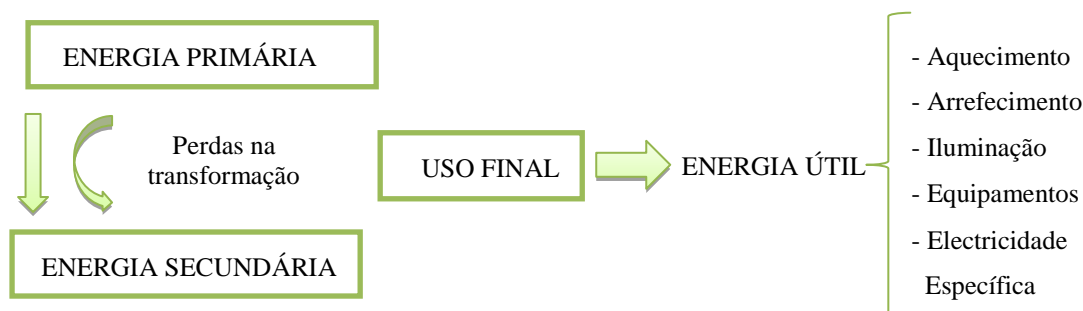


Figura 2.1 - Cadeia do uso de energia [12]

Quadro 2.1 - Tipos de energia [12]

Energia primária renovável	Energia primária não renovável	Energia secundária/final
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hídrica</li> <li>– Biomassa</li> <li>– Eólica</li> <li>– Solar</li> <li>– Geotérmica</li> <li>– Ondas e Marés</li> <li>– Álcool derivado da cana-de-açúcar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Carvão mineral</li> <li>– Petróleo</li> <li>– Gás natural</li> <li>– Urânio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Electricidade</li> <li>– Gasóleo</li> <li>– Gasolina</li> </ul>

A energia utilizada nas habitações pode ser obtida através de duas formas distintas: a electricidade, que chega às casas maioritariamente através da produção hídrica e térmica, esta última com recurso à queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e derivados de petróleo) e a utilização directa de combustíveis tais como o butano, o propano, o gás natural ou o gasóleo, que são queimados localmente para a produção de calor (esquentadores, caldeiras, etc.) [12]. A utilização de combustíveis fósseis apresenta dois grandes problemas: os impactos ambientais provocados pelo aumento da produção de CO<sub>2</sub> (em 2004, o sector residencial, emitiu cerca de 7,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>) e de outras fontes de poluição, e a dependência nacional face aos mercados internacionais, originada pela ausência de recursos energéticos fósseis em território português [12], [5]. Em 2008, a dependência ao nível energético de Portugal foi de cerca de 85% [13].

Em Portugal, os consumos de energia finais nos edifícios de habitação correspondem aproximadamente a 50% para águas quentes sanitárias (AQS), 25% para iluminação e equipamentos, e outros 25% para aquecimento e arrefecimento [10]. Estes valores dizem onde se deverá actuar nos edifícios de forma a melhorar a sua eficiência energética [10]. Esta deve ser feita através da aplicação de princípios, regras ou normas que promovam a utilização racional de energia e a introdução de novas tecnologias (como painéis solares), ao invés de um maior recurso a sistemas de condicionamento de ar interior, o que fará aumentar ainda mais os consumos globais no sector [10].

Com o intuito de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios de acordo com as condições climáticas externas e locais, assim como as exigências relativas à climatização interior e rentabilidade económica, surge a Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta directiva obrigou à implementação, nos Estados Membros, de um Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que, em Portugal, se consubstanciou na revisão do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios – RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril), do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril), e no desenvolvimento de um sistema de Certificação Energética nacional.

O RCCTE foi o primeiro instrumento legal que, em Portugal, impôs requisitos aos projectos de novos edifícios, assim como de edifícios já existentes sujeitos a reabilitação, por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico e de ventilação, garantindo a qualidade do ar interior dos edifícios, bem como as necessidades de AQS, sem gastos excessivos de energia. Posteriormente, ao aparecimento do RCCTE surge o RSECE que estabelece requisitos, também a edifícios novos e a edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, de conforto térmico e de qualidade do ar interior, de renovação e tratamento de ar, que devem ser assegurados através da selecção adequada de equipamentos; em termos da concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção, de modo a garantir a qualidade e segurança durante o funcionamento dos sistemas de climatização; de limites máximos de consumo de energia para climatização, bem como limites de potência a aplicar aos sistemas de climatização a instalar nos edifícios; condições de manutenção dos sistemas de climatização; e condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior [14], [15].

Relativamente ao SCE, os seus principais objectivos são: assegurar condições de eficiência energética, de utilização de sistemas de energias renováveis e condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE; certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; e identificar medidas correctivas e de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos

sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior [14].

A Certificação Energética surge por consequência do grande sucesso que teve na Europa a certificação energética dos electrodomésticos porque tornou visível para o utilizador final a informação relevante sobre o desempenho energético do electrodoméstico individual, reduzindo, assim, a produção de equipamentos de classes inferiores [6].

A existência deste tipo de Certificação Energética tem como objectivo principal a avaliação do desempenho energético dos edifícios de modo a sensibilizar a opinião pública para as vantagens da eficiência energética. Assim, passou a ser obrigatório a atribuição de uma Etiqueta de Desempenho Energético por forma a informar os consumidores sobre o comportamento do edifício em termos do consumo de energia, permitindo uma comparação objectiva entre as diversas ofertas e análises custo-benefício.

A Certificação Energética propõe também medidas de melhoria do desempenho energético dos edifícios, associadas a uma análise de viabilidade económica das mesmas, que proporcionem o aumento da qualidade das construções e do seu conforto térmico, ao mesmo tempo que se reflectem numa redução da factura energética.

Como consequência, a Certificação Energética irá promover o aumento da eficiência energética no sector dos edifícios, pela redução dos seus consumos e consequentes emissões de gases com efeito de estufa, contribuindo para o cumprimento dos objectivos de Quioto.

O Certificado Energético emitido para cada edifício e para cada fracção autónoma, apresenta uma classificação em função do seu desempenho energético, numa escala de nove classes, que vai da A+ a G, em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético e a classe G corresponde a um edifício de pior desempenho energético. Na etiqueta de desempenho energético da habitação são representadas graficamente as classes, juntamente com a indicação, numa seta de cor preta, a classe do edifício, imagem essa semelhante à que encontramos nos electrodomésticos e equipamentos.

No Certificado Energético, para além da referida classe de desempenho energético, aparece também indicado o nível de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, o que permite ao utilizador final comparar este com outros edifícios, aquando da compra ou aluguer de um imóvel, permitindo, desta forma, avaliar a qualidade do mesmo no que diz respeito à eficiência energética, às emissões de carbono e à qualidade do ar interior. No mesmo certificado aparece ainda uma lista de medidas a implementar para melhorar o desempenho energético do edifício, cada qual associada a um custo de realização aproximado e a uma estimativa de retorno do investimento [6], as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação das AQS (águas quentes sanitárias) e o valor de  $N_t$  (necessidades globais de energia primária) e  $N_{tc}$ .

A efectiva implementação do RCCTE assim como a Certificação Energética dos Edifícios, orientados para a obtenção de objectivos ou resultados, oferecem uma oportunidade importante para vincular a materialização do edifício com a sua eficiência energética e ambiental [12]. Contudo, os recentes regulamentos serão pouco eficazes se não existir uma forte consciencialização de todos os actores que participam em qualquer construção, nomeadamente proprietários, profissionais, construtores e administração pública [12].

## **2.3 O QUADRO DE REFERÊNCIA LEGAL PORTUGUÊS APLICÁVEL – RCCTE**

O primeiro instrumento legal que em Portugal estabeleceu exigências na construção como forma de melhorar a qualidade térmica nos edifícios é designado de Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro.

A primeira versão do RCCTE surge de modo a dar resposta à necessidade de existir um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas dos edifícios, impondo requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de modo a limitar os consumos energéticos [16]. O grande objectivo deste regulamento é garantir condições de conforto térmico no interior dos edifícios aos ocupantes sem dispêndio excessivo de energia, minimizando os efeitos patológicos resultantes das condensações superficiais nos elementos construtivos.

O antigo RCCTE já aplicava o conceito de edifícios solares passivos, fazendo o maior aproveitamento possível das condições climáticas do local, de modo a melhorar o comportamento térmico dos edifícios durante a estação de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão) [17]. Assim, este regulamento já limitava as perdas e os ganhos de calor através de envolventes opacas (paredes, coberturas, pavimentos) e transparentes (envidraçados), promovia os ganhos solares através da orientação e da área dos envidraçados, a utilização de sombreamentos e a utilização de ventilação natural [17].

Entretanto, alguns dos pressupostos do RCCTE têm vindo a alterar-se. Enquanto em 1990 eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientes interiores, verifica-se actualmente uma introdução muito significativa de equipamentos de climatização, com um número significativo de edifícios novos a preverem equipamentos de aquecimento e arrefecimento, mesmo no sector habitacional, dando portanto lugar a consumos reais para controlo do ambiente interior dos edifícios, o que se tem traduzido num crescimento dos consumos de energia no sector dos edifícios bastante acima da média nacional [16].

A nova versão do RCCTE surgiu em 2006, aprovado pelo Decreto-Lei 80/06 de 4 de Abril, com uma estrutura semelhante ao regulamento anterior, havendo alterações ao nível das

exigências, de modo a promover uma maior eficiência energética e utilização dos recursos endógenos e consequentemente os edifícios solares passivos [17].

Esta versão estabelece requisitos de qualidade térmica nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Deste modo, impõe limites aos consumos que resultam da sua potencial existência e uso, não se podendo assim falar em valores exactos para esses consumos, pois a presença de equipamentos ou mesmo de sistemas instalados não implica o seu uso permanente e os seus valores variam de habitação para habitação. Assim sendo, apenas são fixados as condições ambientais de referência para cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos, quer em termos de temperatura ambiente quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, que se tem vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes e o uso de novos materiais e tecnologias na construção que libertam gases poluentes [16]. Este Regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir claramente objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projectistas devem obrigatoriamente satisfazer [16].

O RCCTE contabiliza, assim, a energia despendida para produção de águas quentes sanitárias e tem em conta o tipo de sistema de aquecimento e de arrefecimento bem como as fontes de energia primária utilizadas, conduzindo a diferentes requisitos em função da eficiência dos equipamentos.

Devido ao RCCTE os isolamentos térmicos começaram a ser incorporados na envolvente das paredes dos edifícios, permitindo, assim, que as variações de temperatura exteriores tivessem um menor impacto no interior das habitações. O aumento das exigências de qualidade no novo RCCTE também se traduziu no aumento das espessuras de isolamento nos elementos da envolvente exterior (paredes, coberturas e pavimentos) [17]. Deste modo, foi possível minimizar o uso exagerado de equipamentos de aquecimento e arrefecimento. O regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta nova versão do regulamento passa pela obrigatoriedade da instalação de sistemas colectores solares térmicos, para a produção de água quente sanitária, sempre que o edifício apresentar uma exposição adequada [16], [17].

Assim, a aplicação do RCCTE marca um ponto de viragem no que diz respeito ao consumo de energia e à qualidade do ar interior, despertando o sector construtivo para as questões de desempenho e qualidade ambiente dos edifícios [1].

## **2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA APLICAÇÃO DO RCCTE FACE AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS**

Com o surgimento do RCCTE, os projectistas foram obrigados a identificarem medidas concretas no sentido de assegurar as exigências de conforto térmico definidas pelo regulamento.

O RCCTE permite estimar as necessidades energéticas de um edifício, de modo a que estas sejam satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia, considerando as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento do espaço, as necessidades de energia para a produção de AQS e as necessidades de energia primária, para equipamentos e iluminação. Deste modo, o RCCTE permite garantir que as perdas de calor não excedam um valor máximo, minimizar a formação de condensações, promover a utilização dos ganhos solares e reduzir o sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento (Verão). No entanto, o RCCTE restringe os consumos energéticos da habitação para climatização e para produção de AQS, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária.

Este regulamento baseia-se numa análise estática ao edificado a construir, que é elaborado de modo a poder servir de método de análise para a generalidade dos edifícios. Contudo, parte de um conjunto de pressupostos que podem não corresponder efectivamente às condições a que os edifícios estão sujeitos. Um exemplo disso é o caso do RCCTE considerar a temperatura constante, tanto para o interior, como para o exterior, nas estações de aquecimento (Inverno) e arrefecimento (Verão), o que não acontece na realidade, uma vez que, principalmente, as condições exteriores variam muito ao longo do dia. No caso da taxa de renovação horária e dos ganhos internos, ou seja, os ganhos resultantes da ocupação humana, da iluminação e dos equipamentos presentes no interior de uma determinada zona da habitação, o RCCTE também adopta valores constantes. Relativamente às trocas de calor pela envolvente interior, ou seja, entre um local aquecido e um local não aquecido, o regulamento apenas as considera no período da estação de aquecimento, o que significa que nos restantes períodos são nulas. Estes factores impedem fazer uma análise mais exacta do comportamento térmico do edifício.

A análise térmica pelo regulamento RCCTE fornece uma estimativa admissível das necessidades energéticas apresentadas pelos edifícios, mas é pouco rigorosa, comparativamente com outros modelos, nomeadamente os modelos dinâmicos.

## **2.5 OS INSTRUMENTOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS**

### **2.5.1 Interesse e vantagens na avaliação do nível de desempenho dos edifícios**

Nos dias de hoje é possível projectar edifícios com boa eficiência energética, isto é, conceber edifícios adaptados ao clima local e utilizando energias renováveis, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida dos seus ocupantes.

A avaliação do desempenho dos edifícios é fundamental para a eficiência energética, pois só com o seu conhecimento é que é possível identificar se os edifícios possuem, ou não, boa eficiência energética [18].

A avaliação do desempenho dos edifícios é feita através da Certificação Energética, como já foi referido anteriormente. Esta é necessária pois promove a melhoria do património edificado novo e existente, contribuindo para a sua valorização.

A avaliação do desempenho dos edifícios permite ao utilizador, seja ele um possível comprador ou arrendatário, um maior conhecimento do desempenho do edifício, ou fracção, informando-o sobre os consumos de energia esperados em condições normais de utilização, assim como, sobre as medidas de melhoria, com viabilidade económica, que o utilizador poderá implementar, de modo a reduzir as despesas energéticas, podendo mesmo avançar com valores indicativos para a redução dessas mesmas despesas, para os custos estimados de investimento e para o período de retorno do investimento, de cada medida. Assim, a avaliação do desempenho dos edifícios permite poupar no consumo de energia e, conseqüentemente permite ajudar a proteger o meio ambiente, pois ao se poupar energia, diminui-se as emissões de CO<sub>2</sub> e, ainda, permite contribuir para um mercado imobiliário mais justo, uma vez que o utilizador ao adquirir uma habitação terá poder negocial caso o Certificado Energético da mesma não corresponda ao que pretende. Para além destes factores, a Certificação Energética prevê benefícios fiscais para os edifícios com classe energética A ou A+, que se reflectem num aumento de cerca de 10% na dedução à colecta sobre amortizações e juros, bem como sobre aquisição de sistemas de energias renováveis.

Com estes dados, o utilizador final tem mais informação disponível para poder fazer uma escolha boa e mais confiante, e é ele quem acaba por beneficiar, uma vez que todas as medidas que resultam na melhoria do desempenho energético e ambiental dos edifícios revertem a seu favor, não só ao nível do conforto, com todos os benefícios associados para a sua saúde e bem-estar, como também ao nível da redução da factura energética anual.

Deste modo, é importante fazer uma avaliação energética e também ambiental e económica aos edifícios, pois ao se comprar uma casa é necessário estar-se informado sobre a



qualidade da habitação, uma vez que esta pode afectar o bem-estar e a qualidade de vida dos seus ocupantes.

### **2.5.2 A aplicação do RCCTE como instrumento para a avaliação**

Os edifícios abrangidos pelo RCCTE são [16], [1]:

- Fracções autónomas dos edifícios de habitação e os pequenos edifícios de serviços com área útil inferior a 1000 m<sup>2</sup> e sem sistemas mecânicos de climatização ou com sistemas de climatização de potência inferior a 25 kW;
- Grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente e/ou nas instalações de preparação de AQS dos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços referidos no ponto anterior – remodelações ou intervenções na envolvente ou nas instalações cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício, calculado com base num valor de referência por metro quadrado e por tipologia de edifício definido anualmente em portaria conjunta ministerial;
- Ampliações de edifícios existentes, exclusivamente na nova área construída.

Cada fracção autónoma de um edifício, ou seja, cada uma das partes de um edifício, tem de ser dotada de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente [16]. Quando um grupo de edifícios tiver um único contador de energia, o regulamento aplica-se a cada um dos edifícios separadamente [16]. Nos edifícios com uma única fracção autónoma mas constituídos por corpos distintos, o regulamento aplica-se a cada corpo [16].

São excluídos do âmbito de aplicação do RCCTE [16]:

- Os edifícios ou fracções autónomas destinadas a serviços, a construir ou renovar que se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;
- Os edifícios utilizados como locais de culto ou para fins industriais, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- As intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do RCCTE;
- As infra-estruturas militares e os imóveis destinados aos serviços de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo de confidencialidade.

Para efeitos do RCCTE, a caracterização do comportamento térmico dos edifícios faz-se através da quantificação de alguns índices e parâmetros. Os índices térmicos a quantificar são [1]:

- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento,  $N_{ic}$ ;
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_{vc}$ ;
- Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias,  $N_{ac}$ ;
- Necessidades globais de energia primária,  $N_{te}$ .

Segundo o RCCTE é obrigatório que as necessidades nominais anuais ( $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$ ) sejam inferiores ou iguais às necessidades nominais para as condições de referência ( $N_i$ ,  $N_v$ ,  $N_a$ ), expressas em  $\text{kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . O valor das necessidades globais de energia primária ( $N_{te}$ ) é função das várias necessidades nominais e também está limitado por um valor de referência ( $N_t$ ).

Os índices referidos acima devem ser calculados segundo algumas condições de referência [1]:

- As condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20  $^\circ\text{C}$  para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25  $^\circ\text{C}$  para a estação de arrefecimento;
- A taxa de referência para renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 renovações por hora, devendo as soluções construtivas adoptadas para o edifício ou fracção autónoma, dotadas ou não de sistemas mecânicos de ventilação, garantir a satisfação desse valor sob condições médias de funcionamento;
- O consumo de referência de AQS para utilização em edifícios de habitação é de 40 litros de água quente a 60  $^\circ\text{C}$  por pessoa e por dia.

Os parâmetros complementares a quantificar são [1]:

- Os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares,  $U$  e  $\psi$ , dos elementos da envolvente;
- A classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma;
- O factor solar dos vãos envidraçados,  $g_{\perp}$ ;
- A taxa de renovação de ar,  $R_{ph}$ .

De acordo com os parâmetros estabelecidos pelo RCCTE e a partir da comparação das necessidades globais de energia primária com o seu valor de referência, é possível atribuir uma classe energética ao edifício ou fracção autónoma em estudo, tendo em vista a Certificação Energética pelo SCE.

### 2.5.3 Os sistemas de certificação da construção sustentável

Desde os finais dos anos 80 que são efectuadas avaliações a alguns empreendimentos de construção, com o objectivo de avaliar os impactos ambientais negativos dessas mesmas construções e encontrar soluções para os minimizar [1], e em simultâneo contribuir para a eficiência energética dos mesmos.

Com a crescente preocupação ambiental e com a introdução do conceito de sustentabilidade no sector na construção, tornou-se fundamental proceder-se à avaliação da sustentabilidade das construções, através da implementação de sistemas de avaliação ambiental. Um dos seus principais objectivos é “desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à concepção de edifícios sustentáveis, que seja, ao mesmo tempo, prática, transparente e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção” [19].

Os sistemas de avaliação ambiental de edifícios tiveram início na Europa, mais propriamente no Reino Unido, com o **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), propagando-se posteriormente por outros países, como é o caso do **LEED** (*Leadership in Energy & Environmental Design do United States Green Building Council*), desenvolvido pelos Estados Unidos da América. Também outros países do mundo criaram o seu próprio sistema de avaliação, como é o caso do Japão com o **CASBEE** (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*), Austrália com o **NABERS** (*National Australian Buildings Environmental Rating System*), Canadá com o **BEPAC** (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) e a França com o **HQE** (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*). Também Portugal criou o seu próprio sistema de avaliação, o **LiderA** (Sistema voluntário para Avaliação da Construção Sustentável), que foi desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro. Para além destes existe ainda o **GBC** (*Green Building Challenge*) desenvolvido inicialmente pelo Canadá e posteriormente por um consórcio internacional.

Estas ferramentas consideram que a combinação do desempenho dos diversos materiais adoptados e componentes do edifício resultam no desempenho global do mesmo, mas sempre considerando o edifício no seu todo, incluindo as necessidades energéticas ao longo do ano [20]. Os sistemas de avaliação de edifícios só podem ter reflexo à escala local ou regional devido ao facto de se basearem nos regulamentos e legislação local, soluções construtivas convencionais e cada área e parâmetro na avaliação é predefinido de acordo com as realidades sociocultural, ambiental e económica do local [20].

Os sistemas de avaliação ambiental encontram-se em constante desenvolvimento, pois estão dependentes de produtos que estão sempre em evolução, quer em termos estéticos, económicos, ambientais.

#### 2.5.3.1 **BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method**

O sistema BREEAM surge no início de 1990 e foi o primeiro método de avaliação ambiental a ser desenvolvido. Foi desenvolvido no Reino Unido por pesquisadores do *Building Research Establishment* (BRE) e do sector privado, em parceria com a indústria, tendo vindo a ser criadas diferentes versões aplicáveis a usos que vão desde a habitação até aos escritórios [1].

Este sistema tem como objectivo orientar e minimizar os efeitos negativos dos edifícios nos locais onde se inserem e, ao mesmo tempo, promover um ambiente interior saudável e confortável. Alguns dos objectivos deste sistema são [21]:

- Distinguir os edifícios de baixo impacto ambiental existentes no mercado;
- Incentivar a utilização de melhores práticas ambientais nos edifícios;
- Definir critérios e normas que superem os exigidos pela legislação, desafiando o mercado a fornecer soluções inovadoras que minimizem o impacto ambiental dos edifícios;
- Consciencializar os proprietários, utilizadores, projectistas e operadores quanto aos benefícios de edifícios com um menor impacto ambiental.

Este sistema é actualizado a cada 3 a 5 anos, de modo a beneficiar de avanços de investigações, a alterações de regulamentações e do mercado, garantindo a continuação e a representação de práticas de excelência no momento da avaliação.

O sistema de avaliação BREEAM permite avaliar o desempenho ambiental de vários tipos de construção, como [1], [21]:

- Edifícios de habitação novos ou modificados (*BREEAM EcoHomes*);
- Edifícios de escritórios novos, existentes e em uso (*BREEAM Offices*);
- Edifícios industriais (*BREEAM Industrial*);
- Edifícios comerciais (*BREEAM Retail*);
- Edifícios multi-residenciais (*BREEAM Multi-Residential*);
- Tribunais ou edifícios similares (*BREEAM Courts*);
- Hospitais ou edifícios similares (*BREEAM Healthcare*);
- Escolas (*BREEAM Education*);
- Prisões ou edifícios similares (*BREEAM Prisons*);

- Restantes edifícios que não se incluem em nenhum dos sistemas anteriores (*BREEAM Bespoke*).

Este sistema também tem duas formas distintas de avaliação, que são em função do tipo de edifício em causa. No caso de edifícios novos, ou submetidos a alterações, são analisados os parâmetros de desempenho ambiental e também são consideradas questões referentes às fases de projecto e execução. No caso de edifícios existentes e em uso, são considerados os parâmetros de desempenho bem como as questões referente à operação e gestão o edifício.

Relativamente à sua metodologia, este sistema abrange dez áreas de sustentabilidade, como gestão, saúde e bem-estar, energia, transporte, água, materiais, resíduos, ocupação do solo e ecologia local, poluição e inovação, dentro dos quais analisa uma série de parâmetros. No Quadro 2.2 são apresentadas as áreas de avaliação de sustentabilidade pelo sistema BREEAM e os respectivos parâmetros que detalham os requisitos específicos para obtenção de créditos ambientais.

**Quadro 2.2 - Áreas e parâmetros de avaliação [21]**

<b>ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</b>
Gestão	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aspectos globais de política;</li> <li>– Procedimentos ambientais.</li> </ul>
Saúde e Bem-Estar	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ambiente interno e externo do edifício.</li> </ul>
Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Energia utilizada.</li> </ul>
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Localização do edifício;</li> <li>– Emissões de CO<sub>2</sub> relacionados com o transporte.</li> </ul>
Água	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumos;</li> <li>– Detecção de vazamentos.</li> </ul>
Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Implicações ambientais da selecção de materiais.</li> </ul>
Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eficiência dos recursos através de uma gestão eficaz e adequada dos resíduos da construção.</li> </ul>
Ocupação do Solo e Ecologia Local	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desenvolvimento urbano;</li> <li>– Valor ecológico local.</li> </ul>
Poluição	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Poluição de água e ar;</li> <li>– Poluição sonora.</li> </ul>
Inovação	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso controlado dos recursos.</li> </ul>

As áreas de avaliação possuem ponderações de acordo com a importância determinada pelo sistema de acordo com a tipologia de edifício e o contexto local. A introdução de factores de ponderação permite a obtenção de um índice de desempenho ambiental (EPI –

*Environmental Performance Index*). De acordo com o EPI obtido, é atribuída uma certificação numa das classes existentes de desempenho.

O Quadro 2.3 demonstra os seis níveis de classificação existentes de um edifício em função do número de pontos obtidos através da avaliação de uma lista de pré-requisitos (*checklist*) que define os requisitos de cada parâmetro.

**Quadro 2.3 - Classificação do BREEAM [21]**

<b>NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO</b>	
Sem classificação ( <i>Unclassified</i> )	< 30%
Aprovado ( <i>Pass</i> )	≥ 30%
Bom ( <i>Good</i> )	≥ 45%
Muito Bom ( <i>Very Good</i> )	≥ 55%
Excelente ( <i>Excellent</i> )	≥ 70%
Nível Adicional ( <i>Outstanding</i> )	≥ 85%

#### **2.5.3.2 LEED - Leadership in Energy & Environmental Design do United States Green Building Council**

Em 1994, nos Estados Unidos da América, surge um sistema de classificação e desempenho consensual e orientado para o mercado, sendo o seu objectivo o desenvolvimento e implementação de práticas de projecto e construção ambientalmente responsáveis. O sistema de certificação LEED foi desenvolvido pelo *United States Green Building Council* (USGBC) com o financiamento do *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

Este sistema é baseado num programa voluntário que pretende avaliar o desempenho ambiental de um edifício como um todo e considerando o ciclo de vida do mesmo [1], proporcionando um padrão definitivo para o que constitui um edifício sustentável.

Um dos principais incentivos à criação deste sistema foi o facto de se acreditar que enquanto os métodos tradicionais de regulamentação ajudavam a melhorar as condições de eficiência energética bem como o desempenho ambiental de edifícios, os programas voluntários permitiriam estimular o mercado para acelerar os objectivos pretendidos ou até mesmo ultrapassá-las. Outro dos incentivos para a sua criação foi o exemplo de sistemas desenvolvidos noutros países que foram bem sucedidos, como é o caso do BREEAM, desenvolvido no Reino Unido, e do BEPAC, desenvolvido no Canadá. Estes sistemas provaram que o seu desenvolvimento teve impacto na consciencialização e no critério de selecção dos consumidores, principalmente nos proprietários e construtores, a construir edifícios ambientalmente mais avançados. Foi com base nestes incentivos que foi criado o sistema de

avaliação LEED, um sistema que promove a construção sustentável e práticas de desenvolvimento através da certificação e classificação ambiental de edifícios elaborado para os profissionais do sector da construção, bem como para o sector da indústria de construção. Assim, o LEED pretende incentivar a criação de edifícios ambientalmente responsáveis e lucrativos, bem como lugares saudáveis para viver e trabalhar.

Em 1996, os trabalhos foram iniciados apenas em edifícios de ocupação comercial. Nos dias de hoje, já estão disponíveis diversas versões do LEED destinadas a diferentes utilizações, nomeadamente [1], [22]:

- LEED-NC (*New Construction and Major Renovations*): para novas construções comerciais e projectos de renovação com alguma dimensão. Existe ainda uma versão do LEED para alojamentos comerciais com menos de quatro andares (*LEED Lodging*) que deve ser utilizado conjugadamente com o LEED-NC;
- LEED-EB (*Existing Buildings*): para suportar a operação, manutenção (e melhoria) sustentável de edifícios existentes;
- LEED-CI (*Commercial Interiors*): espaços comerciais interiores;
- LEED-CS (*Core and Shell Development*): que abrange a construção de elementos dos edifícios, como a estrutura, o envelope e os sistemas dos edifícios, como o AVAC central;
- LEED-H (*Home*): para habitações “verdes”;
- LEED-ND (*Neighborhood Development*): direccionado para o desenvolvimento urbano envolvente, assente no conceito e princípios do *smart growth* (em desenvolvimento);
- LEED-S (*Schools*): direccionado para as necessidades específicas das escolas;
- LEED-HC (*Healthcare*): espaços de cuidados de saúde;
- LEED-R (*Retail*): espaços comerciais.

O sistema LEED, tal como o sistema BREEAM, funciona através da atribuição de créditos que se relacionam com uma lista de pré-requisitos, a partir da qual analisa a eficiência ambiental potencial do edifício apresentando sete áreas. As áreas e os seus objectivos são os seguintes [23]:

- Locais sustentáveis: reduzir a poluição proveniente de actividades de construção e controlar a erosão do solo, a sedimentação fluvial e geração de poeira no ar.
- Uso eficiente da água: Diminuir o consumo de água, desenvolvendo sistemas eficientes de irrigação e reutilização, para além de um programa de reeducação do uso da água;

- Energia e Atmosfera: Verificar e assegurar os elementos essenciais aos edifícios e que os sistemas sejam projectados, instalados e calibrados para operar como objectivado;
- Materiais e Recursos: Facilitar a redução dos resíduos gerados pelos ocupantes do edifício;
- Qualidade do ar interior: Estabelecer um desempenho mínimo da qualidade do ar interior, de modo a prevenir o desenvolvimento de problemas em edificações, contribuindo para a saúde, conforto e bem-estar dos ocupantes;
- Inovação e processo de projectos: A utilização dos critérios supracitados não deve constituir um obstáculo à criação do projectista;
- Prioridade regional: Determinar as diferentes prioridades ambientais entre diferentes regiões.

Este sistema é um dos mais completos ao nível de áreas de avaliação. No Quadro 2.4 pode-se ver as sete áreas de avaliação e os seus respectivos parâmetros de avaliação.

**Quadro 2.4 - Áreas e parâmetros de avaliação do LEED [23]**

<b>ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</b>
Locais sustentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Escolha do local;</li> <li>– Densidade de desenvolvimento e interacção da comunidade;</li> <li>– Requalificação de terrenos devolutos;</li> <li>– Acesso a transportes públicos;</li> <li>– Locais para bicicletas;</li> <li>– Baixas emissões de gases e veículos eficientes;</li> <li>– Capacidade de estacionamento;</li> <li>– Protecção ou restauração do local;</li> <li>– Espaço aberto;</li> <li>– Controle de qualidade;</li> <li>– Efeito térmico (cobertura);</li> <li>– Efeito térmico (fora da cobertura);</li> <li>– Redução da poluição luminosa.</li> </ul>
Uso eficiente da água	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eficiência da água existente na envolvente;</li> <li>– Aproveitamento de águas residuais;</li> <li>– Redução do uso da água.</li> </ul>
Energia e Atmosfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optimização do desempenho energético;</li> <li>– Energia renovável;</li> <li>– Reforço de sistemas de refrigeração;</li> <li>– Medição e verificação;</li> <li>– Energia "verde".</li> </ul>



(Continuação do Quadro 2.4)

ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
Qualidade do ar interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comportamento da qualidade mínima do ar interior;</li> <li>– Controlo do ambiente das áreas de fumadores;</li> <li>– Monitorização da distribuição do ar;</li> <li>– Aumento da ventilação;</li> <li>– Planeamento da qualidade do ar interior da construção (durante a construção e antes da ocupação);</li> <li>– Materiais de baixa emissão (argamassas, tintas, pavimentos, madeiras compostas e aglomerados);</li> <li>– Controlo das fontes poluentes no interior;</li> <li>– Controlo de sistemas (luminosidade e conforto térmico);</li> <li>– Conforto térmico;</li> <li>– Luminosidade e pontos de vista.</li> </ul>
Materiais e Recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reutilização do edifício - manter constituintes (chão, tecto, paredes);</li> <li>– Controlo dos lixos da construção;</li> <li>– Reutilização de materiais;</li> <li>– Conteúdos Recicláveis;</li> <li>– Materiais da região;</li> <li>– Materiais rapidamente renováveis;</li> <li>– Madeira certificada.</li> </ul>
Inovação e processo de projectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inovação e design;</li> <li>– Acreditação profissional.</li> </ul>
Prioridade regional	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prioridade regional.</li> </ul>

Cada uma das áreas de avaliação integra um conjunto de pontos. Os pontos obtidos levam à atribuição de diversos níveis de certificação. No Quadro 2.5 estão apresentados os diferentes níveis de certificação possíveis.

**Quadro 2.5 - Níveis de certificação LEED [23]**

NÍVEIS DE CERTIFICAÇÃO	
Certificado	40 - 49 pontos
Certificado Prata	50 - 59 pontos
Certificado Ouro	60 - 79 pontos
Certificado Platina	80 - 110 pontos

A certificação LEED tem uma validade de 5 anos. Após o seu fim é necessário solicitar uma nova avaliação por um programa apropriado do USGBC, focado na avaliação da operação e gestão do empreendimento. A partir do ano 2000, foram previstas revisões regulares do

sistema de certificação a cada 3 ou 5 anos, contudo, se o USGBC ou se houver alguma alteração à regulamentação local, as revisões poderão ser feitas num período inferior.

O sistema LEED é considerado o mais divulgado e utilizado nos Estados Unidos da América, pois a sua ferramenta de projecto possui uma estrutura simples, o que permite a facilidade de incorporação à prática profissional. A sua estrutura é baseada em especificações de desempenho, tomando por referência princípios ambientais e de uso de energia consolidados em recomendações e normas de organismos como ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*), ASTM (*American Society for Testing and Materials*), EPA (*U.S. Environmental Protection Agency*) e o DOE (*U.S. Department of Energy*).

#### **2.5.3.3 CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency***

Em 2002, o sistema de certificação CASBEE foi apresentado pelo *Japan Sustainability Building Consortium* durante a *Sustainability Building* em Oslo.

Este sistema inclui um conjunto de ferramentas de avaliação que têm por base todo o ciclo de vida do edifício (projecto, construção, manutenção e renovação), e tem como objectivo avaliar edifícios de escritórios, escolares e residenciais.

O sistema CASBEE não é apenas uma ferramenta de avaliação, mas sim quatro, sendo que cada uma delas destina-se a utilizadores bem definidos que podem avaliar o projecto ou edifício existente nas diversas etapas do seu ciclo de vida. As quatro ferramentas que constituem o sistema são divididas em duas categorias, sendo uma direccionada para edifícios novos e a outra para o parque edificado existente.

A primeira categoria, que diz respeito a edifícios novos, é composta por duas ferramentas, uma de avaliação de pré-projecto e outra de projecto para o ambiente, DfE (*Design for Environment*). A ferramenta de avaliação de pré-projecto destina-se a proprietários e projectistas e tem como objectivo identificar o contexto base do projecto de modo a definir os impactos provocados e ocupação do solo. A ferramenta de projecto para o ambiente destina-se a projectistas e construtores e pretende minimizar os impactos ambientais durante a fase de projecto através de uma auto-avaliação.

A segunda categoria está direccionada para os edifícios já existentes e é composta por outras duas ferramentas, uma ferramenta de certificação ambiental e uma ferramenta de avaliação pós-projecto (operação e renovação sustentável). A ferramenta de certificação ambiental destina-se a proprietários, projectistas, construtores e agentes imobiliários e tem como objectivo certificar os edifícios segundo a sua eficiência ambiental, estabelecendo um valor de

referência no mercado do edifício certificado. A ferramenta de avaliação pós-projecto destina-se a projectistas, proprietários e operadores/gestores e pretende recolher informações para melhorar a eficiência ambiental do edifício durante a fase de operação.

Desta forma, a estrutura do sistema CASBEE é caracterizada por dois aspectos fundamentais, que são a definição de limites do edifício analisado e o levantamento/balanco entre os impactos positivos e negativos durante o ciclo de vida do edifício [24].

Este sistema é composto por diversas áreas, dentro das quais analisa uma série de parâmetros relacionados com a sustentabilidade na construção. As áreas de avaliação do sistema CASBEE e os respectivos parâmetros encontram-se definidos no Quadro 2.6.

**Quadro 2.6 - Áreas e parâmetros de avaliação do CASBEE [24]**

<b>ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</b>
Ambiente Interior, Q1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ruído e acústica;</li> <li>– Conforto térmico;</li> <li>– Iluminação;</li> <li>– Qualidade do ar.</li> </ul>
Qualidade dos Serviços, Q2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Funcionalidade;</li> <li>– Durabilidade;</li> <li>– Flexibilidade.</li> </ul>
Ambiente Externo Dentro do Lote do Edifício, Q3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Manutenção e criação de ecossistemas;</li> <li>– Características locais e culturais.</li> </ul>
Energia, L1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Carga térmica do edifício;</li> <li>– Uso de energia natural;</li> <li>– Eficiência dos sistemas prediais;</li> <li>– Operação eficiente.</li> </ul>
Recursos e Materiais, L2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Água;</li> <li>– Materiais ecológicos.</li> </ul>
Ambiente Externo Fora do Lote do Edifício, L3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Poluição do ar;</li> <li>– Ruído e odores;</li> <li>– Ventilação;</li> <li>– Iluminação;</li> <li>– Efeito de ilhas de calor;</li> <li>– Carga na infra-estrutura local.</li> </ul>

#### **2.5.3.4 NABERS - National Australian Buildings Environmental Rating System**

O sistema NABERS é utilizado para a avaliação de edifícios de habitação e escritórios já existentes. Foi inicialmente desenvolvido pelo *Australian Department of Environment and Heritage* (DEH), sendo que, em 2005, este seleccionou o *Department of Environment and Climate* (DECC) para efectuar a comercialização do NABERS.

Através do desenvolvimento de um projecto *online*, mais propriamente de um questionário electrónico, é possível fazer-se a própria avaliação e classificação global e por área do edifício. Este projecto *online* foi desenvolvido pelo *Auckland Services Limited*, pela *University of Tasmania* e *Energy Australia Pty Ltda*.

O sistema NABERS aborda, de um modo geral, todas as áreas relevantes no ciclo de vida do edifício (Quadro 2.7).

**Quadro 2.7 - Áreas e parâmetros de avaliação do NABERS [25]**

<b>ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</b>
Solo	Avalia questões relacionadas ao uso correcto e a biodiversidade.
Materiais	Avalia o impacto ambiental dos materiais utilizados na edificação.
Energia	Avalia o consumo energético durante a construção e operação de edificação.
Água	Avalia o consumo, a poluição das águas e o reaproveitamento de água pluvial.
Ambiente Interior	Avalia a qualidade do ar interno, associa ainda a escolha correcta de materiais e sistemas.
Recursos	Avalia o uso eficiente dos recursos.
Transporte	Avalia a facilidade de acesso ao transporte colectivo, visando a redução da poluição atmosférica.
Resíduos	Avalia as emissões para o meio ambiente

A avaliação deste sistema está dividida em duas etapas, sendo que uma das etapas consiste na avaliação do desempenho do edifício através da quantificação dos impactos operacionais do edifício em três requisitos: quantificação do impacto ambiental, evolução do desempenho ambiental e redução/eliminação dos efeitos negativos sobre o ambiente natural e construído [25]. A outra etapa focaliza-se no comportamento do ocupante do edifício [25].

Para se proceder à avaliação, o usuário tem de preencher uma ficha electrónica com uma lista de perguntas relacionadas à sua satisfação e conforto. Cada resposta é associada a um número de estrelas, que depois são traduzidas em pontos e são ponderadas, de modo a reflectir a satisfação do utilizador [25]. Após a avaliação, cada categoria de desempenho recebe um número de estrelas que reflectem o total de pontos obtidos, permitindo, assim, a classificação final do edifício. Os edifícios podem ser classificados em [25]:

- NABERS Básico (se não obtiver pelo menos uma estrela em cada categoria);
- NABERS Medalha Verde (mínimo de uma estrela em todas as categorias);
- NABERS Medalha de Bronze (mínimo de duas estrelas em todas as categorias);

- NABERS Medalha de Prata (mínimo de quatro estrelas em todas as categorias);
- NABERS Medalha de Ouro (cinco ou mais estrelas em todas as categorias).

#### 2.5.3.5 *BEPAC - Building Environmental Performance Assessment Criteria*

O BEPAC foi o primeiro sistema desenvolvido no Canadá com o objectivo de avaliar o desempenho ambiental dos edifícios comerciais novos ou já existentes. A primeira versão deste sistema foi desenvolvida em 1993 para edifícios na província de British Columbia [24]. Posteriormente, foram criadas outras versões para as províncias de Ontário e The Maritimes, de modo a responder às necessidades energéticas e às prioridades ambientais locais [24].

Este sistema incentiva o mercado a valorizar práticas com maior responsabilidade ambiental e padrões de desempenho mais elevados, sendo que apenas são certificados edifícios em que os seus projectos e a sua gestão possuam qualidade ambiental.

O BEPAC foi desenvolvido segundo orientações do sistema BREEAM. Deste modo, estes dois sistemas possuem algumas semelhanças, como: são programas de adopção voluntária; o desempenho ambiental dos edifícios é dado pelo conjunto do desempenho potencial e práticas de gestão da operação; a base de avaliação, quer para edifícios novos, quer para edifícios já existentes, é o desempenho esperado na conjugação de práticas de excelência, em função das normas existentes que orientam o projecto e a concepção do edifício; as categorias avaliadas são agrupadas conforme a escala de impacto; e a avaliação é feita por avaliadores formados pelo sistema correspondente ou por avaliadores com um elevado conhecimento em todos os campos avaliados [24]. Contudo, o BEPAC, ao contrário do BREEAM, optou por realizar menos avaliações, apostando mais no detalhe de avaliação.

Com o aumento de exigência na avaliação, os custos e a complexidade de aplicação do sistema também aumentaram. Porém, o objectivo passava por desenvolver um sistema de certificação ambiental com maior flexibilidade de aplicação e por definir uma metodologia que orienta-se novos sistemas de avaliação.

O projecto para o desenvolvimento do BEPAC foi encerrado em 1993. Mais tarde o sistema BEPAC iniciou o sistema *Green Building Challenge* (GBC), desenvolvido também no Canadá.

O sistema BEPAC encontra-se dividido em dois critérios, um de projecto e outro de gestão, para o edifício-base e para a tipologia de ocupação, estando estes distribuídos em quatro módulos: projecto do edifício base, gestão do edifício base, projecto de ocupação e gestão da ocupação (Figura 2.2).

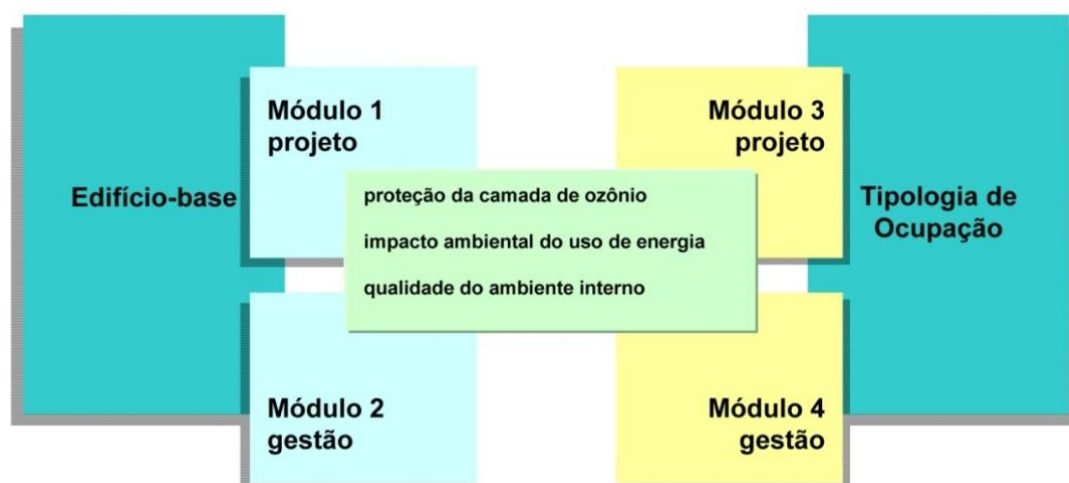


Figura 2.2 - Estrutura do sistema BEPAC [24]

Os módulos são avaliados segundo cinco áreas de impacto, que têm como objectivo abranger um conjunto de aspectos ambientais à escala global, local e interna. Cada área está directamente relacionada com a construção (Quadro 2.8) e possui um conjunto de parâmetros de avaliação formulados por projectistas ou gerentes de operação. Estas áreas servem de enquadramento ao desenvolvimento de uma abordagem temática do processo de avaliação.

Quadro 2.8 - Áreas de avaliação do BEPAC [24]

ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE
Protecção da Camada do Ozono
Uso de Energia
Qualidade do Ambiente Interior
Conservação de Recursos
Contexto de Implantação
Transporte

#### 2.5.3.6 HQE - Haute Qualité Environnementale des Bâtiments

O HQE é um sistema de avaliação desenvolvido em França, baseado em exigências normativas e legais de cada região. A associação HQE surge do programa “*Écologie et Habitat*” lançado pelo *Plan Urbanisme, Construction et Architecture* (PUCA) em 1992 e foi desenvolvida através dos trabalhos realizados pelo *Atelier d’Évaluation de la Qualité Environnementale des Bâtiments* (ATEQUE).

A primeira versão oficial do HQE foi integrada na norma da Associação Francesa de Normalização (AFNOR) e publicada em Fevereiro de 2005, sendo emitido o primeiro certificado da norma *NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE*, em Março de 2005.

Este sistema de avaliação tem como objectivo diminuir os impactos dos edifícios sobre o ambiente exterior, ao nível global, regional e local e criar um ambiente interior confortável e saudável para os utilizadores.

O HQE relaciona dois sistemas respeitantes ao desempenho ambiental de edifícios. A sua estrutura é subdividida em gestão do empreendimento, SMO (*Système de Management de l'Opération*), e qualidade ambiental, QEB (*Qualité Environnementale du Bâtiment*), que avaliam as fases de projecto, execução e ocupação. Cada fase obtém uma certificação independente.

A avaliação deste sistema é realizada a partir de um perfil ambiental, composto pelas seguintes áreas de avaliação: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde, e em cada área são analisados vários parâmetros [24].

Para cada questão analisada é atribuído um nível de desempenho (Figura 2.3), designados de: *Base* (nível de desempenho corrente ou mínimo), *Performant* (nível de desempenho médio) e *Très Performant* (melhor nível de desempenho).

A certificação é obtida quando o edifício possui no mínimo quatro itens com classificação de nível médio e pelo menos três de nível máximo e os restantes podem ser nível *Base*.

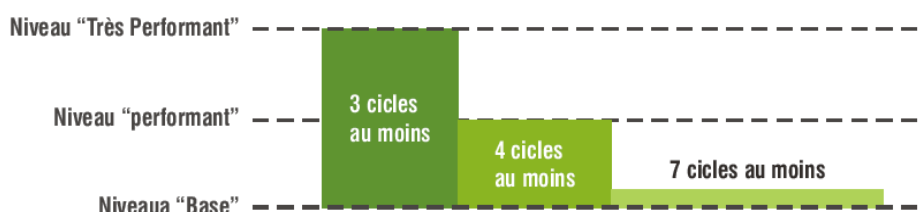


Figura 2.3 - Perfil ambiental mínimo para a certificação do sistema HQE [24]

As áreas de avaliação e os seus respectivos parâmetros são apresentados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 - Áreas e parâmetros de avaliação do HQE [24]

ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
Eco-construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relação do edifício com a sua envolvente;</li> <li>– Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 2.9)

ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
Eco-construção	– Obras com baixo Impacte ambiental.
Eco-gestão	– Gestão de Energia; – Gestão da Água; – Gestão de resíduos de uso e operação do edifício; – Manutenção (permanência do desempenho ambiental).
Conforto	– Conforto higrotérmico; – Conforto acústico; – Conforto visual; – Conforto olfactivo.
Saúde	– Qualidade sanitária dos ambientes; – Qualidade sanitária do ar; – Qualidade sanitária da água.

Este sistema possui o menor número de áreas de avaliação de todos os sistemas referidos, não abordando alguns aspectos sustentáveis que deveriam ser incluídos no ciclo de vida do edifício.

#### 2.5.3.7 *LiderA - Sistema voluntário para avaliação da construção sustentável*

O LiderA é um sistema de certificação ambiental voluntário, adaptado ao contexto climático, económico e sócio-cultural de Portugal. Este sistema consiste num conjunto de critérios que permitem comparar níveis de desempenho ambiental da construção sustentável.

Desde o ano 2000 que o Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, com o apoio da Inovação e Projectos em Ambiente (IPA) tem vindo a desenvolver trabalhos de apoio técnico à construção sustentável, dos quais se destaca o projecto LiderA, acrónimo de liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção. Actualmente, este sistema é uma marca registada portuguesa e tem como objectivos apoiar o desenvolvimento de planos e projectos que procurem a sustentabilidade; avaliar o nível de sustentabilidade nas várias fases do edifício (concepção, obra e operação); suportar a gestão na fase de construção e operação e certificar através de uma avaliação independente.

A primeira versão deste sistema foi disponibilizada em 2005, com a designação de LiderA V1.02, e destinava-se ao edifício e ao respectivo espaço envolvente. Posteriormente, foi desenvolvida uma nova versão V2.0 que permite o alargamento da aplicação do sistema, não apenas ao edificado, mas também ao ambiente construído, espaços exteriores, quarteirões, bairros e comunidades sustentáveis.



O sistema LiderA encontra-se organizado em vertentes que incluem áreas de intervenção, analisadas através de parâmetros que permitem orientar a avaliação dos níveis de sustentabilidade. Assim, este sistema assenta em seis princípios de bom desempenho ambiental que compreendem seis vertentes, traduzidas para vinte e duas áreas e quarenta e três parâmetros.

Os seis princípios de sustentabilidade são os seguintes [26]:

- Princípio 1: Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Princípio 2: Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Princípio 3: Reduzir o impacto das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Princípio 4: Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Princípio 5: Fomentar as vivências sócio-económicas sustentáveis;
- Princípio 6: Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.

As vertentes, áreas e os parâmetros são apresentados no Quadro 2.10.

**Quadro 2.10 – Áreas e parâmetros de avaliação do sistema LiderA [26]**

VERTENTES	ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
Integração local	Solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Valorização territorial;</li> <li>– Optimização ambiental da implantação.</li> </ul>
	Ecosistemas naturais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Valorização ecológica;</li> <li>– Interligação de habitats.</li> </ul>
	Paisagens e Património	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integração paisagística local;</li> <li>– Protecção e valorização do património.</li> </ul>
Recursos	Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Certificação energética;</li> <li>– Desenho passivo;</li> <li>– Intensidade em Carbono (e eficiência energética).</li> </ul>
	Água	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumo de água potável;</li> <li>– Gestão das águas locais.</li> </ul>
	Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durabilidade;</li> <li>– Materiais locais;</li> <li>– Materiais de baixo impacto.</li> </ul>
	Alimentares	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Produção local de alimentos.</li> </ul>
Cargas ambientais	Efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tratamento das águas residuais;</li> <li>– Caudal de reutilização de águas usadas.</li> </ul>
	Emissões atmosféricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caudal de emissões atmosféricas: partículas e/ou substâncias com potencial acidificante (emissão de outros poluentes: SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>).</li> </ul>

(Continuação do Quadro 2.10)

VERTENTES	ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO
Cargas ambientais	Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Produção de resíduos;</li> <li>– Gestão de resíduos perigosos;</li> <li>– Reciclagem de resíduos.</li> </ul>
	Ruído exterior	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fontes de ruído para o exterior.</li> </ul>
	Poluição ilumino-térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Efeitos térmicos (ilha de calor) e luminosos.</li> </ul>
	Qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Níveis de qualidade do ar.</li> </ul>
	Conforto térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conforto térmico.</li> </ul>
	Iluminação e Acústica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Níveis de iluminação;</li> <li>– Isolamento acústico/níveis sonoros.</li> </ul>
Vivência Socioeconómica	Acesso para todos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Acesso aos transportes públicos;</li> <li>– Mobilidade de baixo impacte;</li> <li>– Soluções inclusivas.</li> </ul>
	Custos no ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Baixos custos no ciclo de vida.</li> </ul>
	Diversidade económica e local	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flexibilidade: adaptabilidade aos usos;</li> <li>– Dinâmica económica;</li> <li>– Trabalho local.</li> </ul>
	Amenidades e interacção social	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amenidades locais;</li> <li>– Interacção com a comunidade.</li> </ul>
	Participação e controlo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacidade de controlo;</li> <li>– Governância e participação;</li> <li>– Controlo dos riscos naturais - (<i>Safety</i>);</li> <li>– Controlo das ameaças humanas - (<i>Security</i>).</li> </ul>
Gestão Ambiental e Inovação	Gestão Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Condições de utilização ambiental;</li> <li>– Sistemas de gestão ambiental</li> </ul>
	Inovação	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inovações.</li> </ul>

A cada parâmetro são definidos os níveis de desempenho considerados, permitindo indicar o nível de sustentabilidade da solução. Os parâmetros têm igual importância dentro de cada área, e para se obter o valor da classificação final são ponderadas as vinte e duas áreas. Estas ponderações são estipuladas previamente, onde a energia, água e solo assumem maior importância.

Quanto aos níveis para os critérios de desempenho a procurar, estes devem ser ajustados à tipologia da construção e ao tipo de uso (habitação, hoteleiro, comércio, escritórios e serviços), ao conceito assumido e às características locais, devendo ser seleccionados, em cada

área, os critérios mais relevantes em termos ambientais e ajustados à fase do empreendimento [1].

O sistema classifica o desempenho em vários níveis, que vão da classe A (mais eficiente) à G (menos eficiente), sendo que a classe E é considerada a prática usual. Para o sistema LiderA o grau de sustentabilidade é mensurável e passível de ser certificado em classes de bom desempenho (C, B, A, A+ e A++) [26].

#### 2.5.3.8 **GBC - Green Building Challenge**

O GBC foi concebido com o intuito de desenvolver um método de avaliação do desempenho ambiental de edifícios, que fosse adequado às diferentes tecnologias, tradições construtivas e valores culturais de diferentes regiões, do mesmo país ou de países diferentes.

Este sistema é caracterizado por ciclos sucessivos de pesquisa e difusão de resultados. O primeiro ciclo envolve 15 países e culminou com a GBC'98 (Conferencia Internacional ocorrida no Canadá). O segundo ciclo envolve 19 países e foi um dos temas principais da conferência *Sustainable Buildings 2000*. Após a conclusão deste ciclo, a coordenação do GBC e a organização *Sustainable Buildings*, anteriormente a cargo do governo do Canadá, passou a gestão do sistema para a iiSBE (*International Initiative for Sustainable Built Environment*), que alterou a designação para SBTooL, deixando de existir a denominação de GBC.

A evolução deste sistema deu origem a um terceiro ciclo que envolveu 24 países, cujos resultados foram divulgados numa Conferência Internacional (SB'02/GBC'02), realizada em Oslo, Noruega. Em 2003, inicia-se o quarto ciclo onde os resultados foram apresentados em Tóquio (SB'05). Recentemente surgiu o quinto ciclo, tendo apresentado resultados em 2008.

Ao longo dos vários ciclos os indicadores de sustentabilidade ambiental foram sofrendo algumas alterações.

O GBC consiste na hierarquização de critérios de avaliação ambiental de edifícios, que procura comparar internacionalmente as edificações, de modo a que os seus resultados sejam fiáveis e com fonte científica, respeitando sempre as particularidades locais.

Este sistema aborda todas as áreas relevantes no ciclo de vida do edifício, contudo, é de salientar a introdução das áreas de Qualidade dos Serviços e Aspectos Culturais, relativamente aos sistemas anteriores (Quadro 2.11).

**Quadro 2.11 - Áreas e parâmetros de avaliação do GBC [1], [24]**

<b>ÁREAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO</b>
Uso de recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Água;</li> <li>– Energia;</li> <li>– Solo;</li> <li>– Materiais.</li> </ul>
Cargas ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emissões;</li> <li>– Efluentes;</li> <li>– Resíduos sólidos.</li> </ul>
Qualidade do ambiente interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Qualidade do ar;</li> <li>– Ventilação;</li> <li>– Conforto;</li> <li>– Poluição electromagnética.</li> </ul>
Qualidade dos serviços	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flexibilidade;</li> <li>– Adaptabilidade;</li> <li>– Controlabilidade pelo usuário;</li> <li>– Espaços externos;</li> <li>– Impactos nas propriedades adjacentes.</li> </ul>
Aspectos económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Custos do ciclo de vida;</li> <li>– Custos de construção;</li> <li>– Custos de operação e manutenção.</li> </ul>
Gestão pré-ocupação	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planeamento do processo de construção;</li> <li>– Verificação;</li> <li>– Pré-entrega;</li> <li>– Planeamento da operação.</li> </ul>
Aspectos culturais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Cultura e património.</li> </ul>

A avaliação dos critérios de desempenho é feita qualitativamente e quantitativamente, e a pontuação é atribuída de acordo com uma escala de desempenhos, que varia de -2 a +5 [24]. O zero da escala corresponde ao desempenho de referência [24]. O resultado final é obtido através da ponderação das pontuações atribuídas a cada categoria.

Durante a avaliação, compara-se o edifício em estudo com um edifício de referência e o seu desempenho pode ser classificado como insatisfeito, intermediário ou excelente.

A Figura 2.4 representa um esquema simplificado de obtenção do índice de desempenho ambiental.

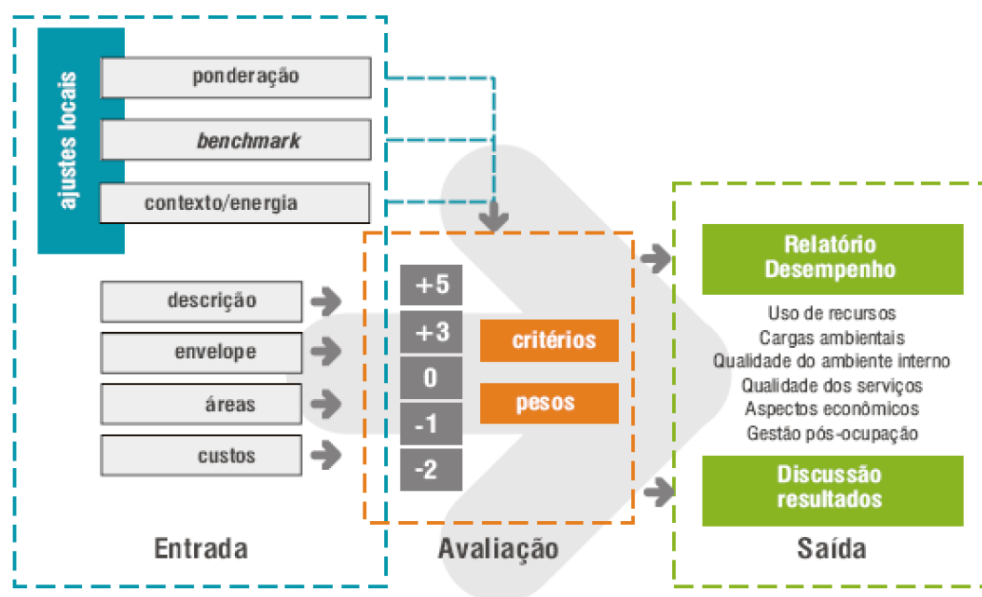


Figura 2.4 - Esquema simplificado de obtenção do índice de desempenho ambiental do GBC [24]

#### 2.5.3.9 Síntese

Todos os sistemas apresentados no ponto 2.5.3 são constituídos com base numa metodologia de avaliação semelhante, dividindo-se em grupos de áreas de avaliação que abrangem o consumo de recursos, cargas ambientais e impactos no ambiente externo, qualidade de vida dos utilizadores, relação com o local e a envolvente bem como aspectos socioeconómicos e políticos.

No Quadro 2.12 são apresentados todos os parâmetros de sustentabilidade referentes aos diversos sistemas de certificação referidos anteriormente.

Quadro 2.12 - Síntese dos sistemas de certificação [27]

Áreas de avaliação de sustentabilidade	Parâmetros de avaliação de sustentabilidade	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO							
		BEPAC	BREEAM	CASBEE	GBC	HQE	LEED	LIDERA	NABERS
Ambiente interno	Conforto acústico	•	•	•	•	•		•	
	Conforto higrotérmico		•		•	•			
	Conforto iluminação	•	•	•	•		•	•	

(Continuação do Quadro 2.12)

Áreas de avaliação de sustentabilidade	Parâmetros de avaliação de sustentabilidade	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO							
		BEPAC	BREEAM	CASBEE	GBC	HQE	LEED	LIDERA	NABERS
Ambiente interno	Conforto olfático		•			•			
	Conforto térmico	•	•	•	•	•	•	•	•
	Conforto visual		•		•	•			
	Luminosidade e pontos de vista						•		
	Qualidade do ar interior			•	•	•	•	•	•
	Monitorização da distribuição de ar						•		
	Ruído interior			•				•	
	Saúde		•		•	•			
	Ventilação interna			•	•		•		
Aspectos socioeconómicos e políticos	Amenidades e interacção social							•	
	Aspectos económicos				•				
	Aspectos globais de política		•						
	Acesso para todos							•	
	Controlo do utilizador				•				
	Custos no ciclo de vida							•	
	Densidade de desenvolvimento e interacção da comunidade				•		•		
	Diversidade económica local							•	
	Participação e controlo							•	
Cargas ambientais e impacto no ambiente externo	Carga na infra-estrutura local			•					
	Efluentes				•		•	•	•
	Emissões atmosféricas	•	•		•	•	•	•	•
	Espaços externos				•				
	Impacto na envolvente				•				
	Poluição da água		•			•			•
	Poluição do ar		•	•		•	•		

(Continuação do Quadro 2.12)

Áreas de avaliação de sustentabilidade	Parâmetros de avaliação de sustentabilidade	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO							
		BEPAC	BREEAM	CASBEE	GBC	HQE	LEED	LIDERA	NABERS
<b>Cargas ambientais e impacto no ambiente externo</b>	Poluição ilumino-térmica			•	•		•	•	
	Resíduos de uso do edifício				•	•		•	•
	Resíduos de construção		•		•	•	•	•	•
	Ruído e odores			•				•	
<b>Integração no meio</b>	Ambiente externo		•		•				
	Contexto de implantação	•	•			•	•		
	Características locais e culturais			•	•				
	Ecologia local		•	•			•	•	•
	Ocupação do solo		•		•		•	•	•
	Paisagem e património			•	•			•	
	Requalificação de terrenos devolutos						•		
	Transporte – emissões de CO <sub>2</sub>	•	•				•		•
	Transporte – localização	•	•				•		•
<b>Inovação</b>	Inovação e processo de design		•				•	•	
<b>Gestão ambiental</b>	Acreditação profissional						•		
	Controlo dos resíduos de construção		•			•	•		
	Controlo dos resíduos de construção		•			•	•		
	Conteúdos recicláveis			•			•		
	Manutenção (permanência do desempenho ambiental)					•			
	Medição e verificação				•		•		
	Procedimentos ambientais		•					•	•
	Reforço de sistemas de refrigeração						•		

(Continuação do Quadro 2.12)

Áreas de avaliação de sustentabilidade	Parâmetros de avaliação de sustentabilidade	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO							
		BEPAC	BREEAM	CASBEE	GBC	HQE	LEED	LIDERA	NABERS
<b>Gestão ambiental</b>	Reutilização de materiais						•		
<b>Planeamento</b>	Adaptabilidade				•				
	Controlo de qualidade						•		•
	Durabilidade			•	•				
	Flexibilidade			•	•				
	Funcionalidade			•					
	Planeamento de operação do edifício				•	•			
	Planeamento de construção				•	•			
<b>Recursos</b>	Conservação da água	•	•	•	•	•	•	•	•
	Conservação da energia	•	•	•	•	•	•	•	•
	Aproveitamento de águas residuais						•		
	Aproveitamento de águas pluviais						•		•
	Eficiência da água existente na envolvente						•	•	
	Eficiência dos sistemas prediais				•		•		
	Energia renovável						•		
	Materiais	•	•	•	•	•	•	•	•
	Materiais ecológicos			•			•	•	
	Prioridade regional						•	•	
	Produção local de produtos alimentares							•	

Do quadro apresentado acima conclui-se que o sistema mais completo, por ser o que possui mais parâmetros analisados, é o sistema LEED.

No Quadro 2.13 são apresentados os critérios de sustentabilidade relacionados com a selecção de materiais relativos aos diversos sistemas de certificação referidos anteriormente.



**Quadro 2.13 - Critérios de sustentabilidade relacionados com a selecção de materiais (Adaptado de [1], [28])**

<b>SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO</b>	<b>CRITÉRIOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM A SELECÇÃO DE MATERIAIS</b>
<b>BEPAC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais com baixa energia incorporada;</li> <li>– Materiais provenientes de fontes renováveis.</li> </ul>
<b>BREEAM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais com baixa energia incorporada;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana;</li> <li>– Materiais locais;</li> <li>– Materiais provenientes de fontes renováveis;</li> <li>– Materiais com resíduos reciclados incorporados;</li> <li>– Materiais reutilizáveis.</li> </ul>
<b>CASBEE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais com elevada durabilidade e confiabilidade;</li> <li>– Materiais reciclados;</li> <li>– Materiais reutilizáveis;</li> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana;</li> <li>– Madeira certificada.</li> </ul>
<b>GBC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais com baixa energia incorporada;</li> <li>– Materiais com elevada durabilidade e reduzida necessidade de manutenção;</li> <li>– Materiais reutilizáveis;</li> <li>– Materiais locais;</li> <li>– Materiais com resíduos reciclados incorporados;</li> <li>– Madeira certificada;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana.</li> </ul>
<b>HQE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais que não emitam poluentes na água;</li> <li>– Materiais que não emitam poluentes químicos e odores;</li> <li>– Materiais que não propiciem a criação de fungos e bactérias;</li> <li>– Materiais com elevada durabilidade;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais que não gerem resíduos sólidos.</li> </ul>
<b>LEED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício;</li> <li>– Materiais com elevada durabilidade e reduzida necessidade de manutenção;</li> <li>– Materiais com baixa energia incorporada e de fácil manutenção;</li> <li>– Materiais reutilizáveis;</li> <li>– Materiais recicláveis;</li> <li>– Materiais com resíduos reciclados incorporados;</li> <li>– Materiais locais;</li> <li>– Materiais provenientes de fontes renováveis;</li> <li>– Madeira certificada;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 2.13)

SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO	CRITÉRIOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM A SELECÇÃO DE MATERIAIS
<b>LIDERA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais locais;</li> <li>– Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício;</li> <li>– Materiais recicláveis;</li> <li>– Materiais reutilizáveis;</li> <li>– Materiais provenientes de fontes renováveis;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais que não gerem resíduos sólidos;</li> <li>– Materiais com resíduos reciclados incorporados;</li> <li>– Materiais com elevada durabilidade;</li> <li>– Materiais certificados;</li> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana.</li> </ul>
<b>NABERS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiais com baixo risco para a saúde humana;</li> <li>– Materiais provenientes de fontes renováveis;</li> <li>– Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente;</li> <li>– Materiais que não gerem resíduos sólidos.</li> </ul>

Apesar de os sistemas de certificação ambiental não permitirem a avaliação de materiais, produtos ou parte de um edifício, pois estão vocacionados para a classificação dos edifícios como um todo, pode-se verificar que o sistema LEED e o sistema LiderA são os sistemas que mais apresentam pré-requisitos ao nível dos materiais.

É de realçar que de todos os sistemas de avaliação apresentados, os mais relevantes e com maior aplicabilidade internacionalmente são o BREEAM e o LEED.

## 2.6 A UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA *ENERGYPLUS* PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EDIFÍCIO

O *Energy Plus* é um programa computacional de simulação dinâmica, criado a partir de dois programas, BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2, e foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, com o intuito de facilitar a compreensão do comportamento térmico dos edifícios e do consumo energético que lhes está associado.

O seu processo de cálculo baseia-se a partir da introdução de informações climáticas horárias da região onde o edifício se insere (ficheiro climático); na geometria e orientação de um edifício, que consiste na construção de um modelo tridimensional, no qual são introduzidas todas as dimensões relevantes e são delimitadas as suas zonas; nas características dos materiais que constituem a sua envolvente e referentes soluções construtivas; e na introdução de determinados parâmetros caracterizadores dos ambientes interiores do edifício, como ocupação,

equipamentos, ventilação, iluminação, entre outros. Este programa permite ainda simular o funcionamento dos sistemas de climatização (AVAC). Deste modo, de acordo com a informação introduzida, o *EnergyPlus* consegue calcular as necessidades de aquecimento e arrefecimento inerentes a determinados padrões de conforto térmico.

O *EnergyPlus* permite ainda a possibilidade de fornecer resultados da simulação em intervalos de tempo máximos de uma hora, podendo o utilizador optar por intervalos mais reduzidos, de modo a obter informações mais detalhadas do comportamento térmico do edifício.

A Figura 2.5 mostra a estrutura de funcionamento do *EnergyPlus*, que é composta por três componentes básicos: um Controlador da Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação. O Controlador da Simulação coordena os Módulos de Simulação nas suas acções individuais. O programa faz a simulação do balanço térmico de uma determinada zona de um edifício, por exemplo, introduzindo na zona a analisar os vários sistemas de climatização nela existentes, de modo a se obter os consumos associados à manutenção da temperatura interior num determinado intervalo de conforto.

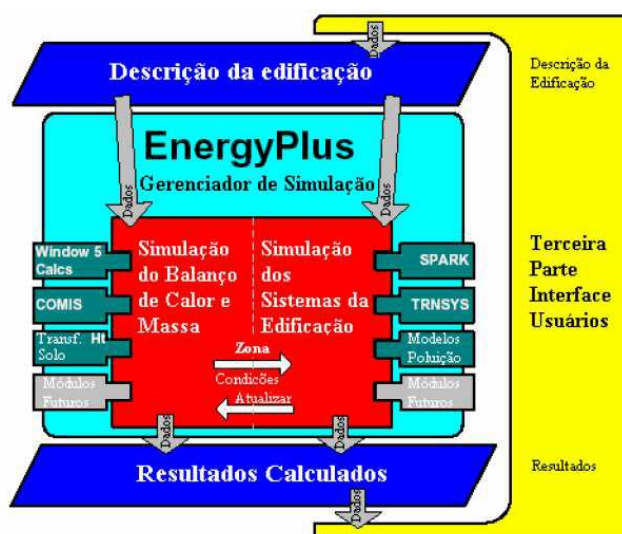


Figura 2.5 - Estrutura de funcionamento do *EnergyPlus* [29]

Deste modo, a análise dinâmica através do *EnergyPlus* permite elaborar simulações com grande rigor devido à possibilidade da introdução de um grande número de variáveis, a nível de temperaturas interiores de cada zona térmica, fluxos de calor, consumos de energia e caudais de ventilação natural em edifícios. Assim, é possível fazer uma análise térmica pormenorizada, tanto para a situação de Inverno como para a situação de Verão, e obter resultados mais próximos da realidade.

## 2.7 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE MODELOS DINÂMICOS PARA A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHOS

A análise dinâmica pode ser feita com recurso a diversos programas, tais como o BLAST, DOE-2.1E, TRACE, ECOTEC, DEST, ENER-WIN, ENERGY EXPRESS, EQUEST, HAP, SUNREL, TRNSYS, COMIS e o *EnergyPlus*. Neste trabalho a ferramenta utilizada foi o *EnergyPlus*.

A simulação de um edifício tem como objectivo a determinação dos consumos energéticos, tanto para a estação de aquecimento, como para a estação de arrefecimento. Embora seja possível determinar esses mesmos consumos manualmente, ou seja, através de equações que descrevem as perdas e ganhos térmicos num edifício, essa forma tem o inconveniente de ser muito demorada, devido à elevada quantidade de cálculos necessários, mas também porque esse cálculo é feito com recurso a métodos simplificados que não alcançam o rigor de um cálculo dinâmico efectuado por um *software* de simulação.

A análise estática com recurso ao RCCTE parte de um conjunto de pressupostos que nem sempre correspondem à realidade, como é o caso de assumir uma temperatura constante para o interior e exterior, durante as estações de aquecimento e arrefecimento.

Os modelos dinâmicos têm como vantagem, face aos modelos estáticos (RCCTE), permitirem fazer uma simulação em curtos intervalos de tempo (inferiores a uma hora), o que possibilita o conhecimento do comportamento térmico do edifício ao longo de um dia e não apenas ao longo dos vários meses; têm em conta os dados climáticos da zona de implantação do edifício; e tem a possibilidade de definir um número ilimitado de diferentes zonas térmicas dentro do mesmo espaço. Desta forma, a utilização de modelos dinâmicos permite elaborar simulações de maior complexidade com base num elevado número de variáveis, levando assim, à obtenção de resultados mais realísticos e mais rigorosos dos gastos energéticos nas diferentes estações do ano.

As principais diferenças entre a metodologia do RCCTE e a do *EnergyPlus* são as seguintes:

- **Ganhos internos:** O RCCTE assume um valor constante ao longo de todo o ano para os ganhos térmicos internos por unidade de área útil de pavimento, tomando um valor igual a  $4 \text{ W/m}^2$  para edifícios de habitação. O *EnergyPlus* permite a introdução de padrões de utilização e a energia emitida pelos equipamentos, iluminação e habitantes, o que possibilita obter um valor mais preciso e realista para os ganhos internos.
- **Ganhos solares:** O RCCTE assume valores genéricos que têm como base a radiação incidente. Com o *EnergyPlus* os ganhos solares variam ao longo do dia e

do ano, consoante a incidência da radiação solar e a sua intensidade e, permite ainda, a definição de padrões de utilização para os sombreamentos móveis.

- **Ventilação:** O RCCTE assume um valor constante para a taxa de renovação horária, tendo como base a norma de ventilação natural NP1037-1. A norma tem em conta a classe da caixilharia, a exposição das fachadas do edifício ao vento e a existência de dispositivos de admissão de ar nas fachadas. O *EnergyPlus* possibilita a definição de horários com a variação da taxa ao longo do dia.



### **3. MATERIAIS ECO-EFICIENTES**

#### **3.1 OS MATERIAIS ECO-EFICIENTES**

Os materiais de construção eco-eficientes são aqueles que entre várias alternativas possíveis, possuem um menor impacto ambiental [3]. No entanto, é difícil saber à partida se um dado material é mais amigo do ambiente que outro, uma vez que um pode utilizar materiais locais e pode permite o escoamento de vários resíduos industriais, mas produzir elevadas quantidades de CO<sub>2</sub>, e o outro, poder ser reciclado indefinidamente, mas a sua produção envolver um elevado consumo energético. Sendo assim, é necessário proceder-se à contabilização, de todos os impactos ambientais causados por um determinado material, desde o início da extracção das matérias-primas, até à fase de deposição [3].

Para a caracterização da obra em termos sustentáveis, é importante fazer-se uma correcta selecção de materiais a utilizar, pois é através da comparação das várias alternativas disponíveis no mercado que se pode garantir a escolha mais adequada ambientalmente. Os materiais naturais têm, geralmente, menor energia incorporada e menor toxicidade que os materiais sintéticos. Requerem menor processamento e têm também menor impacto ambiental. Assim, quando materiais naturais de baixa energia incorporada são inseridos nos sistemas dos edifícios, esses sistemas tornam-se sustentáveis.

Até à actualidade os materiais de construção têm sido seleccionados segundo alguns critérios que dizem respeito, essencialmente, à sua funcionalidade e privilegiando factores como a rapidez de construção e a redução de custos [30]. Desta forma, terá de haver uma mudança nos critérios de selecção dos materiais, de modo a terem em conta a vertente ambiental. Será necessário haver formação para os engenheiros, arquitectos ou projectistas, de modo a permitir uma percepção mais realista e abrangente de cada material em relação a todo o seu longo e complexo ciclo de vida, que vai desde a extracção das matérias-primas até à deposição final do mesmo, ou até a uma possível reutilização ou reciclagem [30]. Cada etapa do ciclo de vida tem impactos e custos energéticos, bem como custos para o ambiente e para a saúde humana [30].

A escolha dos materiais de construção deverá ser mais consciente e criteriosa, desde o início do projecto, e deverá ter em conta inúmeros aspectos como o uso de materiais com baixa energia incorporada, materiais provenientes de fontes renováveis, materiais recicláveis ou que contenham resíduos de outras indústrias e materiais duráveis [30].

Assim, a selecção dos materiais de construção deve ter em conta alguns critérios sustentáveis ao longo do ciclo de vida dos mesmos, que pode ser definida segundo três fases: a fase de extracção e produção, a fase de obra, e a fase de pós-obra [30]. No Quadro 3.1 são apresentados os critérios a ter em consideração na selecção de materiais e os seus objectivos.

**Quadro 3.1 - Critérios a analisar durante todo o ciclo de vida dos materiais [30]**

<b>FASES A ANALISAR</b>	<b>CRITÉRIOS NA SELECÇÃO DE MATERIAIS</b>	<b>OBJECTIVOS</b>
<b>Fase de extracção e produção</b>	– Materiais com processos de fabrico simples.	– Reduzir a produção de resíduos.
	– Materiais cujos processos de fabrico consomem menos energia.	– Reduzir a energia incorporada.
	– Materiais cujo as matérias-primas provêm de recursos renováveis.	– Conservar a natureza.
	– Materiais em que os processos de fabrico são menos poluentes em termos de libertação de GEE.	– Reduzir as emissões de gases poluentes na atmosfera.
	– Materiais locais.	– Reduzir a poluição e o consumo de energia associados ao transporte; – Contribuir para o desenvolvimento da economia local.
	– Materiais que incorporem resíduos de outras indústrias; – Materiais recicláveis.	– Reduzir o consumo dos recursos naturais.
<b>Fase de obra</b>	– Materiais não tóxicos.	– Garantir uma boa qualidade do ar interior nas habitações, contribuindo para a saúde humana.
	– Materiais com bom desempenho energético.	– Reduzir a utilização de energia e, consequentemente, garantir um maior conforto.
	– Materiais com maior durabilidade.	– Reduzir a substituição ou reparação dos materiais durante a sua vida útil, minimizando a utilização de recursos e energia e a produção de resíduos.
	– Materiais reutilizáveis	– Reduzir a pressão sobre os recursos naturais.
<b>Fase pós-obra</b>	– Materiais biodegradáveis.	– Gerir de forma sustentável os resíduos produzidos que normalmente acabam depositados em aterro.
	– Materiais recicláveis.	– Usar os materiais antigos como recursos para a produção de novos produtos; – Reutilizar. – Diminuir os impactos ambientais associados à extracção de matérias-primas e à produção de novos produtos.



Para além dos critérios referidos, aquando da selecção dos materiais a utilizar-se nas construções, deve-se ter ainda em conta os custos associados ao ciclo de vida destes, englobando o custo inicial, custo de manutenção e custo de demolição.

### **Materiais com baixa energia incorporada**

A energia incorporada nos materiais corresponde à quantidade de energia necessária à extracção das matérias-primas, ao seu processamento e manuseamento, transformação da matéria-prima em produtos finais, transporte, aplicação em obra, manutenção e demolição. A quantidade de energia consumida durante a vida útil de um edifício pode variar, e depende, entre outros factores, dos sistemas construtivos utilizados, do número de utilizadores do edifício, do grau de conforto exigido pelos ocupantes e do clima do local. Cerca de 80% deste valor, diz respeito à Energia Primária Incorporada (PEC - *Primary Energy Consumption*) dos materiais, que corresponde à energia consumida durante a produção dos materiais, incluindo a energia directamente relacionada com a extracção das matérias-primas, com o seu transporte para os locais de processamento e com a sua transformação [31]. Os restantes 20% correspondem à energia consumida na obra, incluindo transporte dos materiais de construção e montagem e a necessária para as operações de desmantelamento e demolição dos edifícios no final do seu ciclo de vida [31].

### **Materiais locais**

Parte da energia incorporada num material, assim como parte das emissões lançadas na atmosfera, está associada ao seu transporte até à obra. Deste modo, deve-se optar por materiais de construção produzidos na região pois, terão de percorrer distâncias mais curtas que os procedentes de locais mais longínquos.

### **Materiais provenientes de fontes renováveis**

Os materiais provenientes de recursos que se renovam a uma taxa superior à de exploração são preferíveis aos que contribuem para a diminuição de recursos, como são os materiais consumidores de derivados dos combustíveis fósseis. Estes materiais resultantes de recursos renováveis, são grande parte das vezes biodegradáveis e têm baixa emissão de COV's.

Assim, devido ao consumo excessivo dos mesmos e, consequentemente ao seu esgotamento, é necessário promover o seu aproveitamento racional, de modo a salvaguardar a sua capacidade de renovação e a estabilidade ecológica [1].

### **Materiais com elevado potencial de reutilização e reciclagem**

A selecção dos materiais deve-se basear no seu potencial de reutilização e reciclagem.

Após o fim do ciclo de vida de um material, este possui um determinado potencial de reutilização e reciclagem que é função da sua capacidade de vir a ser utilizado novamente como recurso, em vez da fabricação de produtos a partir de novas matérias-primas. O conhecimento da potencialidade de reutilização e reciclagem de um material é bastante importante na gestão racional dos recursos e produtos de um edifício que apresenta como objectivos a redução do impacto das construções sobre o meio ambiente. Para que estes objectivos sejam alcançados, na selecção de materiais deve-se dar preferência àqueles que possuem maiores potencialidades de reutilização ou que possuam algumas potencialidades de reciclagem, pois a reutilização directa consome menor quantidade de energia, embora ambas evitem a descarga de produtos no meio ambiente.

A maior parte dos materiais de construção pode ser reciclado, como os metais, plásticos, vidro, madeira, betão e materiais cerâmicos.

### **Materiais que contenham resíduos de outras indústrias**

Nos dias de hoje já existe a preocupação em incorporar resíduos provenientes de outras indústrias nos diversos materiais de construção, como no betão ou no cimento, de forma a tornar este sector mais sustentável. Com o aumento da produção de cimento e betão com elevados teores de clínquer e com a elevada extracção de recursos minérios necessários para a composição destes, os impactos ambientais têm vindo a agravar-se [3]. Desta forma, é fundamental substituir parcialmente os agregados naturais por agregados provenientes de resíduos de outras indústrias. Vários são os resíduos de indústrias que podem ser reaproveitados, tanto pela quantidade existente, como pelas suas características. Esses resíduos são as cinzas provenientes da incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU), os resíduos de construção e demolição (RCD) e os resíduos de minas e pedreiras, podendo estes ser reaproveitados em betões ou cimentos, diminuindo assim as suas áreas de ocupação, que é o caso dos aterros [3]. No entanto, o reaproveitamento dos RSU coloca questões quanto à efectividade de imobilização de substâncias tóxicas e metais pesados, já o mesmo não acontece em relação aos RCD e aos resíduos de minas e pedreiras [3].

Para além destes, também podem ser incorporados nos diversos materiais de construção resíduos com características hidráulicas ou pozolânicas, como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais, ou até resíduos da indústria automóvel, nomeadamente pneus, resíduos têxteis, pó de pedra da indústria das rochas ornamentais e resíduos da indústria cerâmica, sem que isso resulte na redução da sua durabilidade [1].

### **Materiais com baixas emissões de GEE**

É importante considerar as emissões que um dado material liberta para o ar durante a sua produção. As substâncias libertadas são responsáveis pelo aquecimento global e destruição da camada de ozono, sendo perigosos para a saúde do Homem.

O gás com maior responsabilidade nas alterações climáticas é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A sua produção está associada à combustão de combustíveis fósseis que tem lugar em algumas actividades a que o material está sujeito.

### **Materiais não tóxicos**

Um material tóxico pode causar danos prejudiciais no ser humano e no ecossistema que o rodeia. Cada material ou produto a utilizar num edifício deve ser devidamente analisado, com vista à identificação de compostos químicos que sejam tóxicos.

A fraca qualidade do ar no interior das habitações é causada por fontes interiores, provenientes dos materiais de construção, e exteriores, de emissões gasosas e partículas sólidas. Alguns materiais podem libertar substâncias perigosas para a saúde humana durante dias, meses ou até anos após a sua aplicação, devendo ser evitados. É o caso de algumas tintas utilizadas no interior das habitações, que podem ser responsáveis pela libertação de substâncias tóxicas. Existem uma série de doenças e sintomas que poderão estar relacionados com a qualidade do ar interior, como por exemplo, as dores de cabeça, o cansaço, a tosse, as irritações, a asma e o cancro.

Os diversos tipos de poluentes produzidos no interior dos edifícios e que contribuem para degradação da qualidade do ar interior são: COV's, emitidos pelos materiais de construção; os COV's emitidos pelos produtos de limpeza e de manutenção utilizados no interior do edifício; as fibras que se desagregam de sistemas de isolamento; poeiras, materiais biológicos (por exemplo, fungos e bactérias) e os gases libertados pela actividade biológica; e pó e outras partículas libertadas nas operações de acabamento/manutenção de certos materiais e componentes (raspagem, lixagem, etc.).

É da responsabilidade dos projectistas a selecção de materiais e componentes de baixa toxicidade, de modo a evitar que a sua utilização afecte a saúde e produtividade dos habitantes de um edifício, e das pessoas responsáveis pela construção e manutenção do mesmo. Devem ser analisadas as fichas técnicas dos diversos materiais, componentes de construção (isolamentos, revestimentos, tintas e vernizes) de forma a reduzir-se a integração no edifício de substâncias tóxicas como os formaldeídos, os COV's e outras substâncias químicas prejudiciais, que se encontram correntemente nos materiais de construção e que podem afectar a qualidade de vida dos ocupantes.

### **Materiais duráveis**

Para que um edifício tenha grande durabilidade, é necessário ter em conta a durabilidade dos materiais a aplicar na sua construção. Quanto maior for a durabilidade desses materiais, maior será a vida útil do edifício, pois os materiais com baixa durabilidade implicam frequentes e complicadas operações de manutenção, ou reabilitação, ou até mesmo de substituição integral, o que envolve um maior consumo de materiais e energia e aumentam os impactos ambientais negativos associados a um edifício.

A repetida substituição e manutenção obriga à utilização de novos materiais e leva ao aumento da produção de resíduos. Ao contrário, a utilização de materiais com elevada durabilidade contribui para uma redução dos custos associados com a manutenção do edifício.

### **Custos associados ao ciclo de vida dos materiais**

Grande parte dos projectistas selecciona os materiais de construção de acordo com o seu custo de aquisição, esquecendo-se que com a duração do período de vida dos edifícios e dos materiais, estes sofrem degradações pelo seu uso, pelo que é necessário a sua manutenção e até mesmo a sua substituição mais do que uma vez [32]. Assim, é de fácil percepção que quanto maior for a durabilidade de um material, menores são os custos associados às fases de operação, manutenção e reabilitação.

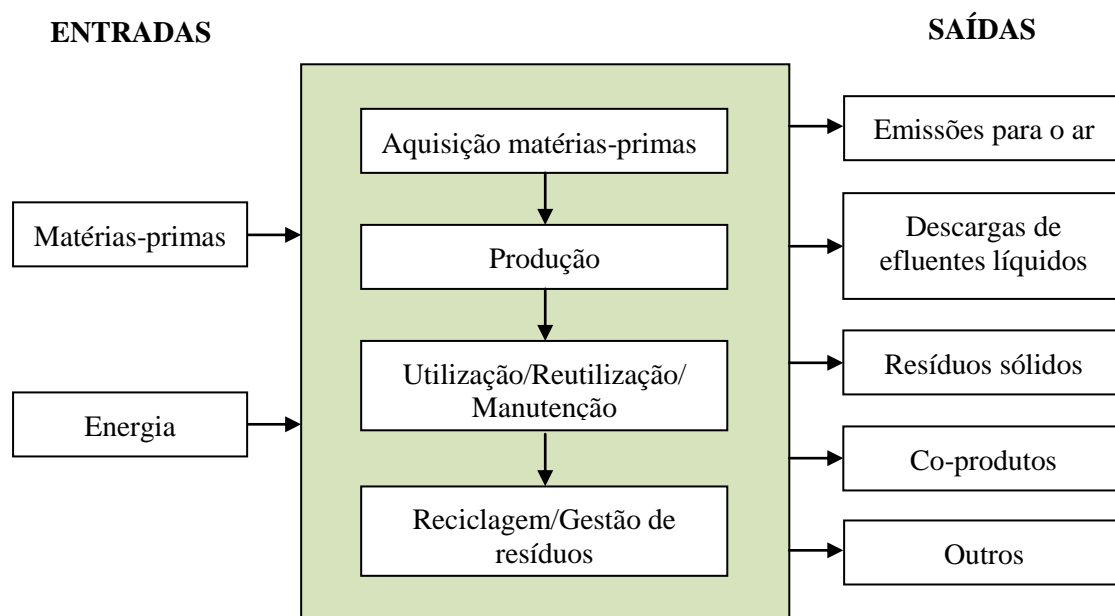
Contudo, também há que ter em conta os custos correspondentes à demolição e eliminação. O custo de demolição é tanto menor, quanto menor for o peso e o volume da estrutura a demolir [32]. O custo de eliminação está associado ao custos correspondentes ao transporte dos materiais provenientes da demolição até aos locais de depósito e ao tratamento e/ou acondicionamento dos produtos de modo a que o seu impacto no meio ambiente e na saúde humana seja o menor possível [32].

Deste modo, quando a análise de custos de um material incide sobre a totalidade do seu ciclo de vida, a aquisição de materiais com custo inicial mais elevado pode justificar-se se os materiais adquiridos possuírem maior durabilidade, ou seja, se diminuïrem os custos futuros [32]. Um custo inicial mais elevado é também justificado se o produto apresentar melhor desempenho ambiental durante o seu ciclo de vida [32].

## **3.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS**

A selecção dos materiais de construção pode ser realizada não só pelo conhecimento adquirido na sua formação, mas também através da utilização de instrumentos metodológicos

orientados para a avaliação do impacto ambiental de materiais e produtos [30]. São exemplo destes instrumentos metodológicos os modelos de Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment* (LCA), que utilizam programas de cálculo informático que permitem avaliar os impactos ambientais dos materiais e produtos durante todo o seu ciclo de vida (Figura 3.1), incluindo a extracção e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a deposição final. Assim, a ACV prevê de forma global os aspectos ambientais do produto ou processo, ou seja, todas as extracções de recursos e emissões para o ambiente, e fornece uma imagem clara dos compromissos ambientais na selecção dos produtos e processos.



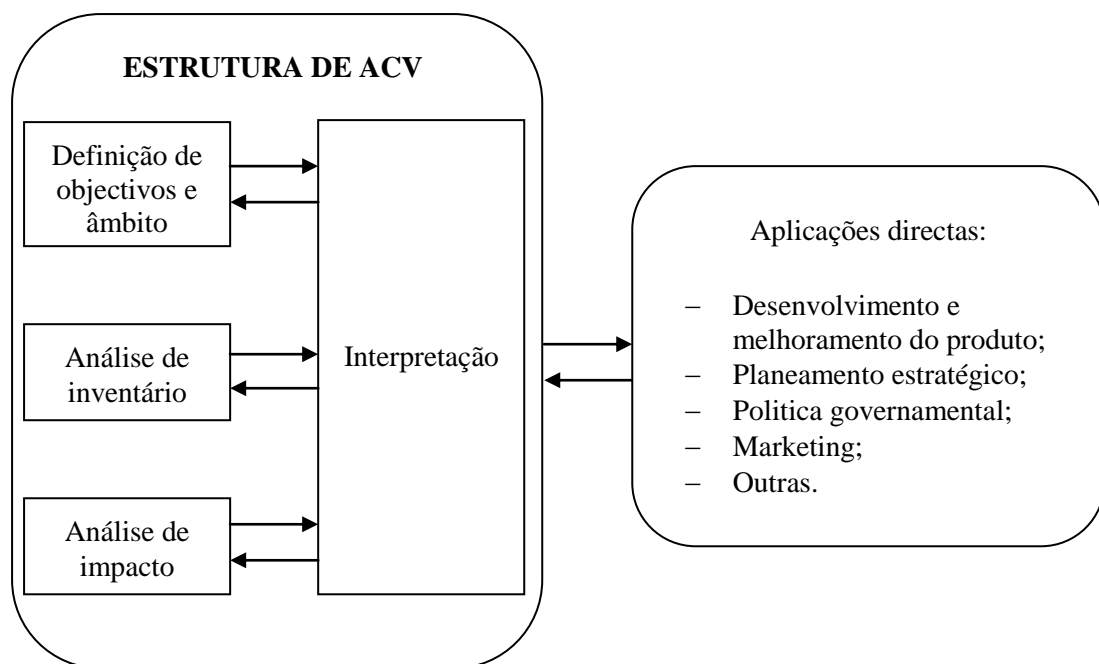
**Figura 3.1 - Estágios do ciclo de vida do produto [33]**

Existem diversas ferramentas informáticas de ACV que têm sido desenvolvidos e disponibilizados, que permitem fazer uma avaliação do impacto ambiental dos produtos e materiais de construção, fornecendo, assim, dados importantes para a avaliação da sustentabilidade dos edifícios durante o seu ciclo de vida. Exemplos desse tipo de ferramentas de ACV são: GaBi (*Ganzheitliche Bilanzierung*) desenvolvido na Alemanha, SimaPro da Holanda, TEAM (*Tools for Environmental Analysis and Management*) de França, LCAiT da Suécia e BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) dos EUA. Portugal também criou uma ferramenta de ACV, designada de MARSC-SC, desenvolvida por Luís Bragança e Ricardo Mateus onde é possível avaliar a sustentabilidade das soluções construtivas, através da análise relativa de cada elemento construtivo.

A aplicação da ACV encontra-se regulamentada internacionalmente pelas seguintes normas:

- ISO 14040 (2008): Análise do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura;
- ISO 14041 (2011): Definição de Objectivos e Âmbito e Análise do Inventário;
- ISO 14042 (2000): Análise do Impacto do Ciclo de Vida;
- ISO 14043 (2010): Interpretação do Ciclo de Vida.

Deste modo, o processo metodológico da ACV é composto por quatro etapas distintas de análise (Figura 3.2). A primeira etapa, que corresponde à definição de objectivos e âmbito do estudo, define e descreve o produto, processo ou actividade, estabelece o contexto no qual a avaliação é para ser feita e identifica os limites e aspectos ambientais a analisar. A segunda etapa, que diz respeito à análise do inventário, consiste na recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas (energia, água e materiais) e saídas (emissões ambientais, como, emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos e descargas de afluentes líquidos) relevantes do sistema. A terceira etapa, relativa à análise de impacto, analisa os efeitos humanos e ecológicos identificados na análise do inventário. Por fim, a quarta etapa, que consiste na interpretação dos resultados, avalia os resultados da análise do inventário e dos impactos, de modo a seleccionar o melhor produto, processo ou actividade.



**Figura 3.2 - Fases de uma análise de ciclo de vida [33]**

Em conclusão, na elaboração de um estudo ACV, é possível [33]:

- Desenvolver um sistema de avaliação das consequências ambientais associadas a um dado produto;

- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma acção planeada;
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- Avaliar os efeitos humanos e ambientais do consumo de matérias-primas e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

### **3.3 MATERIAIS**

No mercado da construção começam a encontrar-se inúmeras soluções e produtos que se auto intitulam mais sustentáveis, ou seja, materiais e soluções que diminuem os impactos ambientais [34].

De seguida apresentam-se alguns desses materiais, que visam a substituição de materiais correntes, com respectiva informação dos parâmetros em que o material é sustentável e referente aplicação.

#### **3.3.1 Terra**

A construção em terra já é usada há mais de 9000 anos pelo Homem em todo o mundo [3]. Nela fazem parte várias técnicas de construção, como a construção em taipa, em adobe ou em BTC (bloco de terra compactado).

A taipa é uma técnica muito usada na zona sul do país, mais propriamente em zonas ricas em argila [3]. Este método requer pouca quantidade de água e pode ser complementado com outros materiais, como tijolo cerâmico maciço, pedra, cortiça ou argamassa, de modo a fornecer as propriedades desejadas para a estabilidade das paredes [3].

O adobe é também uma técnica de construção natural onde o principal recurso utilizado para construí-lo é a argila e a água, que é encontrado no próprio local da construção. É uma técnica de simples fabrico e construção. O fabrico dos tijolos em adobe consiste na moldagem de pequenos blocos que depois são desmoldados ainda no estado fresco e secos ao sol [3].

Como a utilização de argila leva ao aparecimento de fissuras quando o adobe seca devido à retracção do material, normalmente mistura-se palha ou fibras vegetais [3].

Quanto à técnica em BTC, esta surge como evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos [3]. A estes blocos são geralmente adicionados cimento ou cal, de forma a aumentar a sua resistência e reduzir a erosão da superfície. Esta técnica permite uma construção rápida, fácil e permite ainda reduzir os resíduos de construção [3].

A terra, como material de construção, tem baixa energia incorporada, pois os gastos de energia em transporte e em preparação são insignificantes e, para além disso, a construção em terra não necessita de mão-de-obra especializada, nem de maquinaria pesada. Este também é um material que existe em abundância, pois encontra-se disponível e acessível a praticamente toda a gente. Pode ser extraído sem causar danos no meio ambiente, pode ser reciclado sem causar problemas de resíduos ou contaminações e pode ser reutilizado ilimitadamente, não é tóxico, é durável, quando a sua construção é bem executada, é incombustível, e não gera resíduos, nem emissões de CO<sub>2</sub>. Além de ser mais económico e “amigo” do ambiente também proporciona bons níveis de conforto aos habitantes, tanto ao nível térmico como acústico, e contribui beneficamente para a saúde dos edifícios, nomeadamente no controlo da qualidade do ar interior e, ainda, apresenta um óptimo comportamento ao fogo [35]. Os dois primeiros factores devem-se à elevada higroscopicidade (capacidade do material absorver humidade) e inércia térmica (massa absorve os ganhos solares para depois os libertar de uma forma progressiva e lenta) deste tipo de construção [35]. No entanto, é particularmente vulnerável a fenómenos naturais tais como sismos, chuva e inundações, podendo levar ao colapso total da edificação.

A terra pode ser utilizada em revestimentos de paredes interiores e exteriores, em acabamentos (tintas) e rebocos, e pode ser ainda utilizada sob forma de tijolos e telhas.

### **Blocos de terra comprimida**

O tijolo solo-cimento é composto, tal como o nome indica, por solo (areia argilosa), um pouco de cimento e água, devidamente prensado, e constitui uma das alternativas para a construção em alvenaria.

Este tijolo pode, em geral, ser produzido com solo localizado no local da obra, evitando gastos energéticos em transporte, e a sua fabricação é simples, uma vez que a sua cura é realizada apenas com água e sombra, sem recurso à queima de combustíveis fósseis, que contribui para a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. As alvenarias em tijolo solo-cimento podem dispensar o uso de revestimento, desde que sejam devidamente protegidas da acção directa da água, através de um impermeabilizante à base de silicone ou acrílico. Funcionam como sistema térmico e acústico, permitindo que o ar dentro dos furos ao ser aquecido pelo sol, sofra um deslocamento para cima e, ao arrefecer retorna a baixar, diminuindo, assim, a humidade nas



paredes. Possuem maior durabilidade que o tijolo corrente, podendo a sua resistência ser até 6 vezes maior. Estes tijolos têm um sistema de encaixe de modo a aumentar a resistência da estrutura que, para além de facilitar a sua colocação, permite uma construção rápida, prática e sem desperdício de materiais. Devido às suas faces planas, regulares e lisas apenas necessitam de uma espessura muito fina de argamassa de assentamento. Uma vez que o cimento é utilizado em poucas quantidades no fabrico destes tijolos, os seus efeitos no meio ambiente não são muito significantes.

Em termos económicos, a construção em tijolo solo-cimento permite uma redução dos seus custos até 50% em relação ao tijolo tradicional.

### **3.3.2 Pedra**

As pedras são os materiais de construção mais antigos e os mais usados pelos nossos antepassados, podendo-se encontrar em diversos tipos de construção, como em túneis, pontes, igrejas e edifícios públicos. Com o aparecimento da construção metálica e o desenvolvimento do betão armado, a pedra passou a ser utilizada apenas em muros, fundações pouco profundas, blocos para pavimentação e, principalmente como material agregado presente na composição do betão e do cimento.

Actualmente, a pedra pode ser utilizada em revestimentos de paredes e pavimentos, funcionando como elemento de acabamento e de protecção, na construção de muros, em passeios públicos e em coberturas.

A pedra é um material durável e que existe em abundância, mas não é renovável, e o impacto causado pela sua extracção e pelos resíduos gerados no seu processamento requer alguns cuidados. Em Portugal, ainda não existem medidas que garantam a extracção sustentável deste material. A opção passa por uma escolha de fornecedores qualificados e com boas práticas. É a quantidade de utilização deste material na construção que conduz aos problemas ambientais que lhes estão associados, não pela sua escassez [36]. O processo de extracção de pedra em grandes quantidades pode prejudicar gravemente a paisagem, sendo que grande parte das vezes é difícil a recuperação total do ecossistema. A energia necessária para o seu transporte, envolve grandes quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> e grandes incómodos causados pelo transporte pesado (ruído, poeira, vibração), sendo estes mais alguns dos problemas da extracção da pedra [36].

### **3.3.3 Madeiras**

#### **Madeira**

A madeira é um dos materiais de construção mais populares, pois é leve, forte, flexível, durável, fácil de trabalhar, apresenta uma estética agradável e faz parte de uma tradição imemorial dentro da construção. Permite que seja aplicada na sua forma natural, tratada ou como subproduto resultante dos seus desperdícios.

A madeira é um material ambientalmente favorável, pois pelas suas características, propícia a retenção de CO<sub>2</sub> quando a sua extracção é compensada com a plantação de novas árvores [28]. No entanto, é um dos recursos mais consumidos pela construção civil, o que põe em causa a sua renovação [28]. É importante garantir a sua continuidade através de uma gestão eficiente das florestas e garantir que a madeira seja proveniente apenas de zonas de floresta certificadas, pois só as madeiras provenientes destas florestas são sustentáveis e renováveis. A exploração organizada da madeira protege também os solos e os recursos hídricos e mantém a riqueza de espécies.

A madeira utilizada na construção de paredes apresenta boas características de isolamento acústico e térmico, uma vez que consegue reter o calor, libertando-o lentamente ao longo do dia. É um material não tóxico e biodegradável e ao nível do fabrico e transporte, se se encontrar na proximidade do local de construção, as emissões de CO<sub>2</sub> são praticamente nulas, e em termos energéticos os custos são insignificantes. Em relação às madeiras provenientes de demolições, estas, após o seu fim de vida útil podem ser reutilizadas ou recicladas para a produção de aglomerado ou de biomassa. Contudo, a madeira tem baixa resistência à degradação por agentes biológicos, fungos e insectos (carunchos e térmitas), por isso devem ser tratadas antes da sua aplicação.

A madeira pode ser aplicada em revestimentos de paredes e pavimentos, em estruturas de coberturas, paredes, pavimentos e escadas, em portas e caixilharias, em divisórias (painéis de madeira) e na construção de casas pré-fabricadas.

#### **Bambu**

O bambu é um material que cresce e amadurece muito rápido, sem recurso a pesticidas, podendo chegar aos 18 metros de comprimento em 60 dias e amadurecer em 3 anos, dado que as espécies arbóreas demoram em média 60 anos para atingirem esse comprimento e 6 anos para atingirem o amadurecimento para a extracção. A maior concentração de bambu é na Ásia, mas também se pode encontrar na América.

O bambu é renovável, quando extraído de forma correcta, uma vez que a retirada de algumas varas significa um corte no bambuzal, que naturalmente irá continuar a produzir novas varas e não precisa de ser replantado como as árvores, e tal como as restantes madeiras absorve grandes quantidades de CO<sub>2</sub> da atmosfera. É um material leve, flexível, durável, não tóxico e de baixo custo. Apresenta ainda boa resistência à compressão, flexão e tracção e boa resistência a sismos, mas é um material muito susceptível ao ataque de insectos.

O bambu pode ser uma alternativa à utilização da madeira tradicional, e ser usado em coberturas, em revestimentos paredes, pavimentos e tectos, e em paredes divisórias interiores.

### **Cortiça**

A cortiça é um produto natural, de origem vegetal, proveniente da extracção da casca dos sobreiros. As florestas de sobreiro desempenham um papel fundamental, pois constituem a base de um sistema ecológico que contribui para a sobrevivência de várias espécies de fauna e flora naturais, bem como para a prevenção da desertificação de zonas sensíveis e ainda contribui para a retenção de CO<sub>2</sub> [37]. Estima-se que o montado de sobreiro seja responsável pela fixação de 5% das emissões totais de CO<sub>2</sub> de Portugal.

Os sobreiros têm como característica fundamental a capacidade de regeneração após cada extracção da casca (cortiça) e, para além disso, a cortiça actua como uma barreira natural ao fogo, protegendo activamente o sobreiro [37], [38]. Após a extracção da cortiça danificada pelo fogo, a floresta começa um novo ciclo de produção de cortiça [38].

Tendo em conta que um sobreiro tem um tempo de vida que pode ir até aos 200 anos, e que a extracção da casca se faz a cada 9 anos, após um período de crescimento inicial de 20 anos, uma única árvore pode ser descortiçada entre 15 a 18 vezes [37].

Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, uma vez que a floresta de sobreiro concentra mais de 33% da área mundial [37]. Deste modo, este sector assume uma importância fundamental para a economia nacional, uma vez que Portugal é responsável por 55% da produção mundial de cortiça e 90% da matéria-prima transformada é destinada ao mercado externo [37]. Este facto possibilita não só o incentivo da exploração de um material local, como também a redução das emissões de GEE no transporte, provenientes da importação de produtos.

A cortiça apresenta um elevado desempenho ambiental ao nível da construção, pois é um material com baixa energia incorporada, uma vez que a energia consumida na fase de produção é insignificante, é 100% natural, renovável, pode ser reciclado após o fim da sua vida útil, é leve, impermeável, tem boa resistência ao fogo, não emite gases tóxicos, a sua durabilidade é ilimitada, dado que mantém as suas características ao longo do tempo, tem excelentes propriedades de isolamento térmico, acústico e anti-vibração e, uma vez que na sua produção não são utilizados quaisquer produtos sintéticos, apenas vapor de água, não emite

gases poluentes para a atmosfera. Para além destas características, a cortiça é um material que não reage aos agentes químicos e não é atacado por roedores.

A cortiça pode ser aplicada em isolamentos térmicos e acústicos e em revestimentos de paredes, pavimentos e coberturas, no preenchimento de juntas de dilatação, em placas e em tectos falsos e em revestimentos de paredes, pavimentos e tectos.

### **3.3.4 Tintas, vernizes e óleos**

#### **Tintas naturais**

Nos dias de hoje, já existem tintas ecológicas que podem substituir as tintas tradicionais. Essas tintas são designadas de tintas naturais e são feitas à base de água, óleos vegetais, resinas naturais e pigmentos minerais, ou à base de terra e cal, sendo que a cal é um produto naturalmente fungicida e biodegradável. Estas tintas não têm odor, são duráveis, são incombustíveis, não utilizam metais pesados, têm baixa ou nula concentração de COV's e são produzidas através de processos físicos sem auxílio de meios químicos e com baixo uso de energia. A água aplicada na tinta natural é o único solvente que esta contém, pois os solventes orgânicos muitas vezes são compostos por petróleo ou outros produtos tóxicos [39]. Desta forma, o uso de tintas naturais, ao contrário das tintas tradicionais, pretende reduzir a poluição aquática, atmosférica e de resíduos.

Para além das tintas naturais serem mais saudáveis para os ocupantes de uma habitação, são também mais apropriadas para os materiais de construção onde são aplicadas, pois deixam as paredes “respirar”, ou seja, permitem trocas de vapor entre o interior e exterior dos espaços [39]. Este factor diminui, assim, a potencial existência de patologias construtivas tão comuns como as humidades e, consequentemente, contribui para a maior salubridade do espaço [39].

As tintas naturais, tal como as tintas tradicionais, podem ser aplicadas em paredes exteriores, em paredes interiores, tectos e em outros elementos da construção, como portas e janelas ou ainda em mobiliário. Uma vez que as tintas fazem parte da constituição de uma habitação, é importante que seja feita uma escolha cuidadosa da tinta a aplicar, procurando minimizar as consequências negativas tanto no ambiente, como na saúde humana.

#### **Vernizes e óleos naturais**

Os vernizes e os óleos naturais são compostos por água e matérias-primas naturais renováveis de origem vegetal e/ou mineral, e o seu impacto no meio ambiente é inferior aos causados pelos produtos sintéticos, pois não contêm elementos tóxicos, como derivados de petróleo, podendo assim, ser aplicado com segurança em qualquer ambiente.

Tanto os vernizes como os óleos protegem as madeiras e os metais desde o seu interior, penetrando profundamente no material de modo a evitar a formação de fungos e bactérias e a corrosão. Os vernizes permitem que a madeira respire, de modo a deixá-la contrair e dilatar sem que apareçam fendas na sua capa protectora, conservando-a durante mais tempo. Do ponto de vista estético, o verniz natural é mais transparente, o que realça mais a madeira, enquanto o óleo natural recupera o seu equilíbrio natural e as suas qualidades originais de brilho, textura e cor e proporciona uma maior permeabilização e uma protecção solar adicional.

### **3.3.5 Isolantes térmicos e acústicos**

#### **Fibras de côco**

As fibras de côco são naturais, renováveis, biodegradáveis, facilmente recicláveis e propiciam a retenção de CO<sub>2</sub>. Também apresenta grandes vantagens ao nível da sua resistência à humidade e durabilidade. No entanto, é um material combustível e, como se encontra em poucos locais pode ter impactos negativos sobre o meio ambiente devido ao seu transporte. Este material tem boas propriedades acústicas, pois a fibra de côco contribui para uma redução substancial dos níveis sonoros, quer de impacto, quer aéreos, sendo a solução ideal para muitos problemas acústicos.

As fibras de côco para além de poderem ser utilizadas em isolamentos acústicos, também podem ser aplicada em revestimentos de paredes e tectos.

#### **Lã animal**

A lã animal provém da lã de ovelha e pode ser encontrada em qualquer parte do mundo. A sua utilização na construção é inovadora, pois só recentemente se começou a aplicar como isolamento neste sector.

A lã animal pode ser utilizada em isolamentos térmicos e acústicos. Esta apresenta inúmeras vantagens, como: controla as condensações, absorvendo e libertando humidade sem que haja perda das suas características térmicas; aquece até 7 °C quando absorve humidade, reduzindo o risco de condensações; absorve até 30% do seu peso em água, evitando recorrer a uma protecção contra o vapor; absorve gases perigosos, como CO<sub>2</sub>, retendo-os permanentemente; tem grande durabilidade, pois em contacto com humidade não se degrada; provém de fontes renováveis; é biodegradável após o seu fim de vida útil; pode ser reutilizado se estiver em boas condições; é reciclável; e não provoca problemas respiratórios ou de pele durante a sua aplicação [40], [41].

## **Cânhamo**

O cânhamo é um material renovável, sendo que entre 100 a 120 dias após a sua plantação atinge 4 a 5 metros, é um purificador do ar na sua fase de crescimentos [42], é biodegradável e resistente a fungos e insectos, reciclável, durável, benéfico para os solos e com boa permeabilidade ao vapor.

Os isolamentos de cânhamo são apresentados sobre a forma de painéis flexíveis ou em rolo e podem ser reutilizados se apresentarem condições adequadas, não são um risco para a saúde humana, possuem um óptimo comportamento térmico e acústico, são de fácil instalação, são bons reguladores de humidade e não necessitam de tratamento contra os insectos.

Em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, este material armazena mais do que aquilo que produz durante o seu fabrico, o que contribui para a redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O cânhamo para além de poder ser usado em isolamentos térmicos e acústicos, pode ainda ser utilizado na produção de tijolos, argamassa e betão.

## **Fibras de celulose**

As fibras celulósicas podem ser utilizadas na confecção de isolamentos térmicos e acústicos e, são obtidas a partir da reciclagem de produtos celulósicos (papel e jornal).

O seu fabrico consiste na trituração de papel, ao qual são adicionados aditivos naturais (sais de boro) que melhoraram as suas características face às acções do fogo e aos agentes biológicos (fungos e parasitas) e ainda evitam a degradação do material.

O isolamento à base de celulose é bom regulador de humidade, o que proporciona um ambiente agradável no interior das habitações e não é tóxico. No entanto, tem como desvantagem ter elevada higroscopicidade, pois ao atingir elevados teores de água irá ter consequências ao nível da sua resistência térmica.

Este material de construção é considerado sustentável, pois para além de ser fabricado a partir das sobras de tiragens, através da reciclagem, a sua matéria-prima é renovável, estando disponível nas gerações futuras e os sais utilizados (boratos) são extraídos e transformados de maneira sustentável [42]. Em termos energéticos, a energia despendida para o fabrico de isolamentos à base de celulose é muito inferior relativamente com a energia gasta no fabrico de isolamentos de lã mineral, isolamentos de poliestireno expandido, isolamentos de fibras de madeira, entre outros. Este isolamento pode ser aplicado por projecção, injeção e insuflação, o que permite adaptar-se a cada estrutura. A aplicação por insuflação com recurso a ar comprimido, ao contrário das mantas ou placas de isolamento, permitem vedar todas as fendas, orifícios ou quaisquer pontos de descontinuidade, obtendo-se um isolamento contínuo sem

pontes térmicas, proporcionando assim uma boa protecção contra o frio e uma eficaz vedação ao vento [42].

### **Fibras de madeira**

As fibras de madeira são provenientes de resíduos de serraria e quando usados em isolamentos apresentam bons níveis acústicos e térmicos.

O isolamento a partir de fibras de madeira é biodegradável, propiciam a retenção de CO<sub>2</sub>, apresenta boa resistência à compressão, não é tóxico, permite a passagem de vapor de água, contribuindo assim, para a qualidade do ar interior, é fabricado a partir de recursos renováveis, pode ser reutilizado se ainda apresentar boas condições e é um bom regulador de humidade.

As fibras de madeira podem também ser utilizadas em coberturas, sob forma de telha, e em divisórias interiores (painéis).

### **Argila expandida**

A argila expandida é um agregado leve que se apresenta em forma de bolas de cerâmica leves e arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com micro poros e com uma casca rígida e resistente. A argila expandida, por possuir porosidade fechada, característica rara nos agregados leves, detém uma elevada capacidade de isolamento térmico e acústico, melhorando consideravelmente o conforto e o bem-estar.

Este material é reciclável e reutilizável, não é tóxico e é durável, o que constitui um produto base para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Por ser um material natural, o nível de emissões de CO<sub>2</sub> é mais baixo em relação a outros materiais utilizados no isolamento dos edifícios.

A argila expandida é um material leve, resistente, incombustível, com estabilidade dimensional, inodoro, económico e de fácil aplicação.

Para além da argila expandida poder ser utilizado como isolamento térmico e acústico, também pode ser usado em coberturas ajardinadas, pois é um bom regulador de humidade, o que favorece o crescimento adequado das plantas e evita o surgimento de ervas daninhas.

### **Lã mineral (lã de rocha e lã de vidro)**

Os isolamentos de lã de rocha são feitos à base de fibras minerais de rocha vulcânica e ainda podem conter subprodutos da indústria do aço e gesso [43].

Os isolamentos de lã de vidro são feitos com areia de sílica, vidro ou resíduos de vidro reciclados, calcário e carbonato de sódio [40].

Estes isolamentos podem ser reciclados e reutilizados, se ainda apresentarem condições adequadas à sua utilização, não são tóxicos, são incombustíveis e resistentes à podridão, logo são duráveis.

A produção dos isolamentos minerais requer a utilização de grandes quantidades de energia e, conseqüentemente, a emissão de gases nefastos ao meio ambiente.

### **Espuma de poliuretano de base de soja**

A espuma de poliuretano de base de soja é um isolamento que integra matérias-primas renováveis, como a soja, que substitui os derivados de petróleo [43].

Este isolamento emite, durante a sua produção, baixas emissões de CO<sub>2</sub>, é 100% reciclável, é resistente a fungos e não é tóxico. No entanto, não é biodegradável.

Este tipo de isolamento apresenta vantagens relativamente aos isolamentos em placa, pois preenche completamente e sela todos os espaços vazios.

### **EPS (poliestireno expandido moldado)**

O EPS é um produto cujo material é composto por cerca de 2% de poliestireno e 98% de ar [35].

Este tipo de isolamento não é tóxico, não liberta qualquer tipo de partículas ou gases para o ambiente e pode ser utilizado em situações de ambientes controlados, como laboratórios, indústrias químicas ou unidades de saúde e no sector da restauração [35]. O EPS é um material durável, mantendo as suas características físicas ao longo do tempo, é leve e é de fácil manuseamento, não provoca reacções químicas em contacto com os materiais correntes da construção, não é tóxico, é reciclável e reutilizável, tem baixa capilaridade, evita o desenvolvimento de microrganismos e não ganha bolores indesejáveis e prejudiciais para a saúde e durante a sua aplicação não são necessárias medidas de protecção especial.

A produção do EPS requer menos energia que o XPS (poliestireno extrudido moldado) [36].



### **3.3.6 Telhas**

#### **Telhas a partir de fibras vegetais ou a partir de materiais reciclados**

Actualmente é possível fabricar telhas a partir de cimento e fibras vegetais (como pinho, eucalipto, fibras de sisal, bananeira e côco) ou de materiais reciclados, como papel reciclado, alumínio ou plástico. Estas telhas apresentam vantagens em relação às telhas de amianto, pois não são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, e ainda apresentam maior desempenho térmico. Para além das fibras vegetais ou dos materiais reciclados, estas telhas são pigmentadas de modo a se poder obter a cor desejada, sendo protegidas por uma resina que protege a telha contra os raios ultravioletas, preservando a cor do produto e impedindo a escamação da superfície.

A presença das fibras nas telhas aumenta a durabilidade destes materiais e melhora o seu desempenho mecânico (por exemplo, às acções climáticas e à flexão). Estas telhas são impermeáveis, resistentes, resistem a agentes químicos e à humidade, são leves, reduzindo o peso da cobertura, têm baixa transmissão térmica e acústica e não são tóxicas.

As telhas recicladas podem ser constituídas por plástico ou agregados reciclados. Estas não geram qualquer tipo de poluente na sua fabricação, são mais leves e isolantes (termicamente).

### **3.3.7 Borracha e plásticos**

#### **Borracha**

A utilização dos resíduos da indústria automóvel, nomeadamente pneus ou resíduos de outras indústrias, é altamente desejável como matéria-prima, pois permite reduzir os danos ambientais decorrentes, uma vez que para a sua decomposição são necessários cerca de 600 anos. Estes resíduos podem ser utilizados no fabrico de revestimentos e telhas, são recicláveis e reutilizáveis, são leves e não incorporam produtos químicos nocivos ao meio ambiente. O processo de fabrico, tanto de telhas recicladas, como de revestimentos reciclados, são mais “amigos” do ambiente.

No caso das coberturas de borracha, estas são muito duráveis (podendo durar cerca de 30 a 40 anos), não necessitam de levar isolamento, uma vez que a borracha funciona como isolamento e também como um reflector de calor, são à prova de água e funcionam como retardador de chamas, o que as torna muito resistentes. Pode ser aplicado em qualquer tipo de cobertura, é de fácil reparação e pode ser aplicado sobre um telhado já existente.

### **PVC reciclado**

O PVC (policloreto de vinilo) é um material termoplástico feito à base de eteno (derivado do petróleo) e sal (na forma de cloreto). Este material requer menos petróleo em relação a outros polímeros e, por isso, tem um baixo conteúdo energético.

O PVC apesar de ser difícil degradação, ser poluente por possuir aditivos que contêm metais pesados e produzir emissões prejudiciais ao meio ambiente, durante o seu fabrico, tem como vantagem a possibilidade de ser reciclado após o fim de vida. Contudo, a reciclagem deste material, para além de possuir alguns problemas, nomeadamente ao nível da eliminação dos resíduos poluentes, também resulta na diminuição da sua qualidade.

O PVC reciclado não é tóxico e é durável, e o seu processo de reciclagem não liberta emissões perigosas no meio ambiente.

### **3.3.8 Revestimentos**

#### **Vinílico reciclado**

O vinílico é feito a partir do PVC (policloreto de vinilo) e é um material de construção 100% reciclável, durável, com baixas emissões de COV's, é mais leve que os pisos convencionais, levando a uma maior economia no transporte e a uma menor poluição no meio ambiente.

Este material tem boa resistência às manchas, riscos e a produtos químicos, requer pouca energia na sua produção, é de fácil manutenção e possui boas características acústicas e térmicas.

O vinílico reciclado pode ser aplicado em revestimentos de pavimentos.

#### **Linóleo**

O linóleo é uma boa opção para um revestimento sustentável, pois é um material natural feito a partir de matérias-primas renováveis, como óleo de linhaça (extraído da semente do linho), serragem de cortiça e de madeira, resinas de árvores (nomeadamente de pinheiros), pigmentos sem metais pesados e juta. Este material não é tóxico, é durável e biodegradável, tem propriedades acústicas e térmicas, pode ser reciclado após o seu fim de vida útil e é resistente ao fogo. Uma vez que a juta é a única matéria-prima que não existe em Portugal, pois provém da Ásia e da América, a energia gasta em transporte é significativa.

O linóleo pode ser utilizado em revestimentos de pavimentos e paredes, e em portas.

### **3.3.9 Impermeabilizantes**

#### **Membranas EPDM**

As membranas EPDM são produzidas a partir de uma mistura de monómero de etileno-propileno-dieno e aditivos, tais como óleos, cargas, agentes de vulcanização, pigmentos e retardadores de fogo.

Estas membranas têm como vantagem serem de grande durabilidade, tendo uma esperança de vida útil de cerca de 50 anos, não contaminam o meio ambiente durante o seu processo de produção, instalação ou durante a sua vida útil e apresenta muitas hipóteses de reciclagem. Contudo, a reciclagem deste material requer muita energia.

As membranas EPDM são de fácil aplicação, são resistentes à radiação ultravioleta, às temperaturas altas e baixas e ao envelhecimento.

### **3.3.10 Gessos**

O gesso é um material comum em rochas sedimentares e, no sector da construção, tem múltiplas aplicações devido a sua propriedade de absorção e grande compatibilidade com quase todos os tipos de pintura. Pode ser aplicado sobre alvenarias de tijolo ou de betão em interiores, permitindo a obtenção de superfícies finamente acabadas e prontas para receber o acabamento ou pintura.

O gesso possui boas propriedades de aderência, é um bom isolante térmico e acústico, pois tem baixa condutibilidade térmica e um elevado coeficiente de absorção acústico. Possui boa resistência ao fogo, não é tóxico, permite a execução de pormenores decorativos em paredes e tectos, assim como fazer de revestimento em paredes (estruque) ou ser utilizado sob forma de gesso cartonado para utilização em tectos ou divisórias de paredes. No entanto, a sua fraca resistência quando está em contacto com água faz do gesso um mau material para ser utilizado em exteriores. O processo de fabrico do gesso liberta alguns gases na atmosfera, nomeadamente, SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre).

Este material pode ser reciclado vezes sem conta, pois nunca perde as suas propriedades, e ainda, pode incorporar resíduos de indústrias.

O gesso é um material muito utilizado em tectos falsos e divisórias e em revestimentos interiores. Nos tectos falsos e nas divisórias, para além destes conterem gesso, também podem incorporar fibras de celulose ou fibras de vidro.

### 3.3.11 Cimentos

#### **Ligantes obtidos pela activação alcalina**

Actualmente é possível incorporar, tanto no betão como no cimento, resíduos provenientes de diversas indústrias, de modo a reduzir o uso de recursos naturais na produção destes. Resíduos esses que possuem características hidráulicas ou pozolânicas, como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais, ou até resíduos da indústria automóvel, nomeadamente pneus, resíduos têxteis, pó de pedra da indústria das rochas ornamentais e resíduos da indústria cerâmica, sem que isso resulte na redução da sua durabilidade [1]. A incorporação dos resíduos das diversas indústrias no betão e no cimento permite baixar os consumos de energia e baixar as quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> causadas na sua produção e utilizar recursos renováveis.

A produção de cimento Portland é um dos maiores produtores de CO<sub>2</sub> no mundo, uma vez que por cada tonelada de cimento produzido, aproximadamente uma tonelada de CO<sub>2</sub> é libertado a partir de reacções químicas e pela queima de combustíveis fósseis [40].

Os ligantes obtidos pela activação alcalina, ou ligantes geopolímeros, que provêm de subprodutos de indústrias, como as cinzas volantes (subproduto da queima de carvão em centrais eléctricas) e as escórias de alto-forno (subproduto da indústria de ferro), apresentam maiores vantagens ambientais em relação ao cimento Portland.

Em Portugal o volume de produção de escórias e de cinzas volantes em termos globais é de 0,4 milhões de toneladas por ano, o que representa somente 4% da produção total de cimento Portland [44]. Grande parte das cinzas volantes pode ser incorporada nos ligantes em taxas de 10-30% [40]. As escórias de alto-forno já podem ser incorporadas nos ligantes em maiores percentagens, podendo chegar aos 90%, contudo, normalmente o máximo utilizado é de cerca de 70% [40]. Assim, é possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na produção do betão até 50% [40]. Contudo, existe ainda outra alternativa à utilização de cimento Portland, mas também à utilização de cinzas volantes e escoras de alto-forno, que são os ligantes obtidos por activação alcalina de alumino-silicatos provenientes dos resíduos de minas e pedreiras, uma vez que o seu volume produção é muito superior, representando aproximadamente 16 milhões de toneladas por ano [44]. Os resíduos de minas e pedreiras podem ser aproveitados sob forma de lamas residuais em ligantes alcalinos.

Os ligantes alcalinos têm como principais vantagens em relação ao cimento Portland o facto de possuírem uma elevada capacidade de imobilização de resíduos tóxicos e radioactividades, o que lhes confere uma mais-valia ambiental. Apresentam também maior durabilidade e, na sua produção, um nível de emissões de CO<sub>2</sub> muito inferiores [3]. No entanto, a sua produção tem maiores custos.

### **Cimento ecológico**

O cimento ecológico é produzido com base em carbonato de magnésio e/ou desperdícios siderúrgicos.

Este material oferece diversas vantagens ambientais relativamente à transformação do carbonato de magnésio em óxido de magnésio, pois é necessária pouca energia, o que significa que as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia necessária para accionar os fornos são mais reduzidas.

O processo de cozimento para a produção do cimento ecológico emite quantidades significativas de CO<sub>2</sub>, mas durante a sua aplicação e endurecimento, o CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera é reabsorvido lentamente.

Com a utilização do cimento ecológico nas construções, a indústria do cimento reduz significativamente a sua contribuição no aquecimento global, reabsorvendo grande parte do CO<sub>2</sub> emitido durante sua fabricação.

O betão produzido com cimento ecológico é durável, pode conter resíduos orgânicos, como cascas de arroz, plásticos e borracha sem que este perca a sua qualidade.

### **3.3.12 Argamassas**

#### **Argamassa de cal**

A cal provém da pedra calcária e os produtos que ela contém têm a grande vantagem de permitirem uma obra que “respira” e que efectue trocas com o ambiente exterior, proporcionando um elevado grau de impermeabilidade à água, associada a uma alta permeabilidade ao vapor de água e uma ausência de fissuração por retracção restringida, daí ser aconselhada a sua aplicação como sistema completo (rebocos exteriores, argamassas de assentamento de alvenarias e pavimentos, rebocos interiores) devido à sua continuidade construtiva [45].

As argamassas constituídas por cal (aérea ou hidráulica) e areias seleccionadas, misturadas em fábrica e com o traço adequado à granulometria da areia, contêm um teor de humidade que lhes permite minimizar a produção de pó em obra [45]. A utilização da cal como ligante em argamassas para revestimentos traduz-se num elevado desempenho de conforto do edifício e contribui para a sua durabilidade [45]. O endurecimento destas argamassas é feito à custa da absorção de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera que, como sabemos, é o responsável pelo efeito de estufa, que nos dias de hoje, se pretende minimizar [45].

As argamassas de cal, em relação às argamassas de cimento, requerem menos energia na sua produção, resultando, assim, em menos emissões de CO<sub>2</sub>.

A estas argamassas podem ainda ser adicionados resíduos de cerâmica de barro vermelho, de modo a reutilizá-los e valorizá-los. O recurso a estes resíduos para a composição de uma argamassa de cal aérea, podem actuar como pozolana, se forem finamente moídos, reduzindo o consumo de ligantes (que envolvem processos de elevado consumo energético), de margas ou calcários, através da sua substituição parcial [46]. Se a sua moagem for grosseira, estes podem desempenhar a função de agregado, através da sua substituição parcial, levando a uma redução da extracção de rochas e areias [46].

Deste modo, reduz-se consideravelmente a deposição do material cerâmico em aterro em cerca de 30%, uma vez que parte do material cerâmico produzido é desperdiçado [46].

### **3.3.13 Tijolos**

#### **Tijolo de silicato de cálcio**

Os tijolos de silicato de cálcio são produzidos através da mistura de cal (cerca de 5% a 8%) com areia de sílica (cerca de 92% a 95%) e água. Contudo as matérias-primas podem ser parcialmente substituídas por materiais de outras indústrias, como cinzas volantes [36] ou por fibras, tais como as fibras de cânhamo, proporcionando aos tijolos excelentes características térmicas e acústicas.

Em termos energéticos, a produção destes tijolos é significativa, principalmente no que diz respeito à queima do calcário e à compressão de alta pressão envolvida na formação dos tijolos [36]. Relativamente às emissões lançadas na atmosfera durante a sua produção, estas são mínimas [36].

Os tijolos de silicato de cálcio são duráveis, têm boa resistência mecânica e boa resistência ao fogo, não emitem gases tóxicos tanto para o ambiente interior como para o ambiente exterior mas, no entanto, não são adequados para reutilização como agregado recuperado em betão, embora possa ser usado em aplicações de baixo grau, como enchimento ou material de fundação.

### **3.3.14 Betões**

#### **Betão celular autoclavado**

O betão celular autoclavado é feito com cimento e água e com materiais naturais, como areia sílica, cal e pó de alumínio e, ainda, pode conter PFA (Cinzas de Combustível Pulverizadas), ou seja, subprodutos de outras indústrias, tais como cinzas volantes. As PFA

podem ser utilizadas como substitutos do cimento ou como aditivo. A sua estrutura é formada com milhares de micro bolhas, o que torna o material mais leve.

O betão celular é considerado um produto ecológico pois a sua produção não contamina o meio ambiente e a sua utilização não gera desperdícios. Este betão possui excelentes propriedades isolantes (acústicas e térmicas), proporcionando ambientes termicamente estáveis e reduzindo o consumo de energia para climatização. Tem boa resistência ao fogo, funcionando como barreira, não contém substâncias tóxicas, é de fácil aplicação, é durável, pois é imune a ataques biológicos e contém menos energia incorporada que um betão tradicional, tanto no transporte como na sua produção, mas ainda assim significativa. Durante o processo de fabrico do betão celular autoclavado, a cal desempenha um papel fundamental, dado que absorve mais CO<sub>2</sub> do que emite, o que representa uma protecção ambiental.

Este material, após o seu fim de vida útil, pode ser reutilizado como enchimento ou material de fundação [36].

### **Betão reciclado**

Grande parte dos resíduos provenientes da construção civil podem ser reciclados. Deste modo, a utilização de agregados reciclados no betão é uma maneira de se tirar um maior proveito dos resíduos provenientes das demolições de edifícios (RCD). Assim, é possível obter um novo betão com características semelhantes a um betão produzido com matérias-primas naturais, sem que o betão reciclado contenha qualquer matéria-prima natural. A resistência de um betão reciclado pode chegar aos 80% ou 90% [47].

Tal como o betão, também as alvenarias das construções podem ser recicladas. O reaproveitamento dos betões e das alvenarias são regulados pelo LNEC através das especificações LNEC-E473, para agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos, ou LNEC-E471, para agregados reciclados grossos para betão [3].

## **3.3.15 Metais**

### **Aço e alumínio**

O aço e o alumínio são materiais naturais, sendo que a matéria-prima do qual é produzido, o ferro, é um dos elementos mais abundantes no planeta, podendo encontrar-se na crosta terrestre. Durante o processo de produção, o oxigénio é separado do ferro, o que resulta num material homogéneo que não emite nenhuma substância tóxica [48].

Nos dias de hoje, o processo de produção de aço consome quase 50% menos de energia e água, simultaneamente, as emissões de CO<sub>2</sub> também são inferiores [48]. Já o processo de produção do alumínio exige grandes quantidades de energia.

O aço usado nas armaduras do betão é um dos poucos recursos que se valorizam em todo o processo de demolição, pois, após o fim de vida útil deste material é possível recuperá-lo, reciclá-lo e reutilizá-lo [40], [47].

Actualmente é possível reciclar tanto o aço, como o alumínio diversas vezes sem que estes percam as suas qualidades. Quando se fala de aço e alumínio reciclado, também há que ter em conta as emissões de CO<sub>2</sub> emitidas durante o processo de reciclagem. Uma vez que na reciclagem destes materiais não se utiliza nem carvão, nem pedra calcária, como no processo tradicional, as emissões de gases poluentes e consumo energético podem ser reduzidas entre 50% a 70% para o aço e até 90% para o alumínio, para além de reduzir a energia incorporada.

O aço proveniente de matérias-primas naturais ou reciclado tem de levar uma protecção contra a corrosão e tem de ser sujeito a manutenção, pois só assim é durável. O alumínio lacado e anodizado é resistente ao ambiente e à exposição solar, logo é durável, e ao contrário do aço, não necessita de manutenção [49].

#### **3.3.16 Vidro**

O vidro é um material composto por matérias-primas naturais, como areia, calcário, carbonato de sódio e óxido de alumínio.

Os principais impactos ambientais referentes ao vidro dizem respeito à elevada quantidade de energia necessária para atingir as altas temperaturas para a transformação das matérias-primas. Durante a produção do vidro, nomeadamente durante o seu processo de fusão, são libertados gases prejudiciais ao meio ambiente, tais como SO<sub>2</sub> e flúor.

Contudo, o vidro é um material que pode ser reciclado com muito sucesso e infinitamente, sem perda de qualidade e durabilidade. O vidro reciclado pode ser aplicado na composição de azulejos e mosaicos para interiores, isolamentos térmicos e acústicos e argamassa para reboco.

### **3.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO**

No Quadro 3.2 apresenta-se uma síntese do ponto 3.3 desta dissertação, onde é feita uma descrição dos diversos materiais eco-eficientes e referentes aplicações, e são ainda indicados alguns produtos sustentáveis.



Quadro 3.2 - Descrição e aplicação dos materiais de construção eco-eficientes [40], [50]

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
<b>TERRA</b>			
<b>Terra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> </ul> <p>Com baixa energia incorporada.</p>	Parede de alvenaria interior e exterior	<b>Thermoplan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tijolo composto por argila;</li> <li>– Bom isolante térmico;</li> <li>– <math>\lambda = 0,10 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Parede de alvenaria interior e exterior	<b>Adobe</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por terra e areia;</li> <li>– Reciclável.</li> </ul>
		Parede de alvenaria interior	<b>Ibstock Ecoterre</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tijolo composto por argila;</li> <li>– Com conteúdo reciclado;</li> <li>– Bom isolamento acústico e térmico.</li> </ul>
		Revestimentos de fachadas e paredes interiores	<b>Ibstock Elementix</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ladrilho composto por argila reciclada.</li> </ul>
			<b>Claytec Gesso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por argila, areia e fibras vegetais.</li> </ul>
		Revestimentos de fachadas	<b>Placa de barro</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por argila, silte, areia, aditivos orgânicos e minerais, palha, linho, malha de cana e juta;</li> <li>– Reutilizável.</li> </ul>
		Coberturas	<b>Telhas de barro</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por argila, areia, pigmentos e aditivos.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Blocos de terra comprimida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável;</li> <li>Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Parede de alvenaria exterior	<b>Bradstone</b> <b>EnviroMasonry</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Blocos de alvenaria composto por água, agregados reciclados e argila;</li> <li><math>\lambda = 1,33 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
PEDRA			
Pedra	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Revestimentos de paredes interiores e pavimentos	<b>Ecoart</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento de pedra composto por 92% de quartzo (restos de rochas, sedimentos e areia), resina e pigmentos.</li> </ul>
		Revestimento de fachadas	<b>Bekstone</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ladrilho composto por agregados recuperados e água;</li> <li>Com conteúdo reciclado;</li> <li><math>\lambda = 1,11 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
		Coberturas	<b>Telha de ardósia e mica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composto por ardósia e mica.</li> </ul>
			<b>Telha de ardósia reciclada</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composto por grânulos de ardósia reciclada, resinas, pigmentos e aditivos.</li> </ul>
MADEIRAS			
Madeira	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável;</li> <li>Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Revestimento de paredes interiores	<b>Ecowood</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composto por tábuas maciças de madeira retiradas de antigas construções.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Madeira		Revestimento de paredes interiores	<b>Revestimentos OCA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tábuas compostas por madeira de Teca maciça certificada (sem adição de produtos químicos);</li> <li>– Bom isolante térmico e acústico.</li> </ul>
			<b>Panelvent</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por lascas de madeira, resíduos de madeira seleccionada e desbastes florestais;</li> <li>– <math>\lambda = 0,08 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
		Revestimentos de fachadas	<b>Thermowood</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tábuas compostas por madeira proveniente de florestas sustentadas (sem químicos);</li> <li>– <math>\lambda = 0,082 \text{ a } 0,130 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
		Revestimentos de pavimentos	<b>FSC Oak</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por FSC carvalho e polímeros de baixo nível de COV's.</li> </ul>
		Portas interiores	<b>Iconic</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por madeira certificada.</li> </ul>
		Caixilharia de janelas e portas	<b>ENERSign</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por madeira certificada e fibra de vidro.</li> </ul>
			<b>Ecopassiv</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por madeira certificada, alumínio e espuma de poliuretano.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
<b>Bambu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Coberturas	<b>Vast Pavens</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Telhas compostas por FSC Bambu.</li> </ul>
		Revestimento de pavimentos	<b>EcoClad</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tábuas compostas por fibras de bambu FSC e papel reciclado, sem solventes e COV's;</li> <li>– Resistente à água;</li> <li>– Reciclável.</li> </ul>
			<b>Moso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pannel maciço composto por madeira nobre de bambu.</li> </ul>
		Revestimentos de tectos	<b>Moso Solid strip</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pannel composto por bambu e aditivos.</li> </ul>
		Revestimentos de paredes interiores	<b>Pastilhas de bambu mandala</b>
<b>Cortiça</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamento térmico e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Amorim Isolamentos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Baixo consumo energético (93% de cortiça, 7% de electricidade);</li> <li>– Reciclável;</li> <li>– <math>\lambda = 0,04 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Isolamento para pavimentos em linóleo ou vinil	<b>Cork</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por cortiça aglomerada e borracha reciclada.</li> </ul>
		Revestimentos de paredes, pavimentos e tectos	<b>Cortiça Globus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por cortiça sem COV's;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Boa resistência ao choque e ao fogo;</li> <li>– Bom isolante térmico e acústico.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Cortiça		Revestimentos de pavimentos	<b>Amorim Revestimentos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Propiciam a poupança de energia (capacidade de isolamento, retenção de calor);</li><li>– Bom isolante acústico;</li><li>– Reutilizáveis e recicláveis.</li></ul>
		Tectos falsos	<b>Painéis em cortiça</b>
TINTAS, VERNIZES E ÓLEOS			
Tintas naturais	<ul style="list-style-type: none"><li>– Matérias-primas renováveis;</li><li>– Durável;</li><li>– Não tóxico;</li><li>– Com baixa energia incorporada.</li></ul>	Fachadas	<b>Volvox</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Tinta composta por água, silicato de sódio, talco, calcário, argila, dióxido de titânio, sal de amónio e mica.</li></ul>
		Fachadas e paredes interiores	<b>Tinta solum</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por pigmentos minerais e naturais e emulsão de base aquosa.</li></ul>
			<b>Pintura de barro</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por caulino inglês, leite, extracto vegetal e pigmentos naturais.</li></ul>
		Paredes interiores e tectos	<b>Earthborn Claypaint</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por água, argilas, giz, caulino, éster de vinagre, metilcelulose, dióxido de titânio, pigmentos e 0,1% conservante sintético.</li></ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
<b>Tintas naturais</b>		Madeiras	<b>Tinta</b> – Composto por água, pigmentos minerais, material de enchimento, éster vinagre, dióxido de titânio e conservantes.
			<b>DriTac 7500 Eco-Uretano</b>
<b>Vernizes naturais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico.</li> </ul>	Acabamentos para madeiras	<b>Verniz para madeiras</b>
		Acabamentos para metais	<b>Verniz para metais</b>
<b>Óleos naturais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico.</li> </ul>	Acabamento de madeiras	<b>Primário para madeiras</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por óleo de linhaça, laranja e pinho, solvente, cobalto, hidrocarboneto e sais de zinco.</li> </ul>
<b>ISOLANTES TÉRMICOS E ACÚSTICOS</b>			
<b>Fibras de côco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Isolamentos acústicos de paredes interiores e pavimentos	<b>Amorim Isolamentos</b> – Painel composto por fibras de côco e aglomerado de cortiça expandida.
		Revestimentos de paredes e pavimentos	<b>Ekobe</b> – Pastilhas compostas por casca de côco.
<b>Lã de ovelha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Thermafleece Original</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Painel composto por 85% de lã de ovelha e 15% de ligante de poliéster;</li> <li>– <math>\lambda = 0,038 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Lã de ovelha		Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Thermafleece EcoRoll</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Paineis compostos por 75% de lã de ovelha, 15% de poliéster reciclado e 10% poliéster binder;</li> <li>– <math>\lambda = 0,039 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
			<b>Thermafleece TF35</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Paineis compostos por 60% de lã de ovelha, 30% de poliéster reciclado e 10% poliéster aglutinante reciclado;</li> <li>– <math>\lambda = 0,035 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
			<b>Black Mountain</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Paineis compostos por lã virgem;</li> <li>– Absorve, retém e liberta a humidade sem afectar as suas propriedades térmicas;</li> <li>– Absorve gases poluentes como formaldeído;</li> <li>– Biodegradável.</li> </ul>
Fibras de cânhamo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de <math>\text{CO}_2</math>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Thermafleece Hemp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Paineis compostos por cânhamo, algodão reciclado e poliéster;</li> <li>– Bom regulador de humidade;</li> <li>– <math>\lambda = 0,04 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
		Alvenarias e pavimentos	<b>Hemcrete</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tijolo composto por cânhamo, cal e água;</li> <li>– Absorve <math>\text{CO}_2</math>;</li> <li>– Boa resistência ao fogo.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Fibras de celulose	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas inclinadas	<b>Excel Warmcel 100</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por jornal reciclado com aditivos não tóxicos;</li> <li>– Absorve CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Boa resistência ao fogo;</li> <li>– <math>\lambda = 0,04 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
			<b>Isofloc</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por papel reciclado e sais bóricos;</li> <li>– <math>\lambda = 0,039 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
			<b>Termex</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por jornal reciclado;</li> <li>– Reutilizável;</li> <li>– <math>\lambda = 0,038 \text{ a } 0,040 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas inclinadas	<b>Celbar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta de origem vegetal (celulose) composto por mais de 80% de papel reciclado;</li> <li>– <math>\lambda = 0,031 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Tectos falsos	<b>Placas de papel reciclado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por lã de rocha, perlite, papel reciclado, argila de bola, fibra de vidro reciclado, fibra mineral, dolomita, caulino, argila calcinada;</li> <li>– Reciclável.</li> </ul>



(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
<b>Fibras de madeira</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Jular</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por fibras de madeira;</li> <li>– <math>\lambda = 0,038 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Coberturas inclinadas	<b>Igloo celulose</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por 85% de fibras de madeira e 15% de matéria biodegradável;</li> <li>– Reciclável.</li> </ul> <b>Telhas Onduvilla</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por fibras de madeiras, fibras de sisal, bananeira e côco impregnadas de betume e resina.</li> </ul>
<b>Argila expandida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas	<b>Argex</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por agregado leve, com uma estrutura interna de espuma cerâmica com microporos e uma superfície rígida e resistente;</li> <li>– Betão leve de enchimento: <math>\lambda = 0,10 \text{ a } 0,11 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>
		Coberturas verdes	
		Betão leve de enchimento	
<b>Lã de rocha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pode conter resíduos de outras indústrias;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Isolamentos térmicos de coberturas	<b>Rockwool</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por rocha ígnea (vulcânica) e subprodutos da indústria do aço (20 a 30%);</li> <li>– Boa resistência ao fogo;</li> <li>– <math>\lambda = 0,041 \text{ W/m.}^\circ\text{C}</math>.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Lã de rocha		Isolamentos térmicos e acústicos de paredes e pavimentos	<b>Rockfall</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– placas compostas por rocha vulcânica subprodutos da indústria do aço e gesso;</li> <li>– Reutilizável.</li> </ul>
Lã de vidro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes interiores e exteriores e pisos intermédios ou térreos	<b>Foamglass</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por sílica, areia e elementos de produção de vidro (vidro reciclado e novo, com carbono misturados);</li> <li>– Não inflamável.</li> </ul>
			<b>Earthwool DriTherm</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por casco de vidro reciclado, areia e ligante;</li> <li>– <math>\lambda = 0,032</math> a <math>0,037</math> W/m.°C.</li> </ul>
			<b>Isover</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por lã de vidro mineral com conteúdo reciclado (70% de vidro reciclado);</li> <li>– <math>\lambda = 0,037</math> W/m.°C.</li> </ul>
		Isolamentos térmicos de coberturas	<b>Earthwool FactoryClad</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por casco de vidro reciclado, areia, ligante, sem formaldeído;</li> <li>– <math>\lambda = 0,032</math> a <math>0,040</math> W/m.°C.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
Espuma de poliuretano de base de soja	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Isolamentos térmicos e acústicos de paredes e pavimentos	<b>BioBased</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pasta composta por espuma de poliuretano de base de soja.</li> </ul>
EPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Isolamentos térmicos de paredes e pavimentos	<b>Plastimar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Placas compostas por cerca de 2% de poliestireno e 98% de ar;</li> <li>– <math>\lambda = 0,031 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
TELHAS			
Telhas a partir de fibras vegetais ou a partir de materiais reciclados	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Coberturas	<b>Telhas de ardósia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por plásticos reciclados e calcário natural.</li> </ul>
			<b>Telhas de cimento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por areia, cimento, pigmentos, tintas, agregados reciclados e ligantes.</li> </ul>
			<b>Telhas Onduline</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por fibras de celulose.</li> </ul>
			<b>Telhas de fibras vegetais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por fibras vegetais impregnadas de betume e pigmentos.</li> </ul>
BORRACHA E PLÁSTICOS			
Borracha	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Revestimentos para pavimentos	<b>Tire tiles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Composto por borracha de pneus reciclados;</li> <li>– 90% de resíduos de pneus.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
<b>Borracha</b>		Revestimentos para pavimentos	<b>Noraplan Eco</b> – Composto por borracha e borracha reciclada.
		Isolamento térmico e acústico	<b>Borracha</b> – Composto por membrana de borracha (35% reciclado), lã de vidro e alumínio.
		Coberturas	<b>Telhas de borracha</b> – Composto por borracha reciclada.
<b>PVC reciclado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Caixilharias de janelas e portas exteriores	<b>Veka</b> – Composto por PVC reciclado.
<b>REVESTIMENTOS</b>			
<b>Vinílico reciclado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável;</li> <li>– Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Revestimentos para pavimentos	<b>Symbioz</b> – Composto por 75% de matéria-prima reciclada com baixas emissões de COV's; – $\lambda = 0,25 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
<b>Linóleo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Matérias-primas renováveis;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Revestimentos de pavimentos	<b>Linoleum</b> – Composto por farinha de madeira, resina de pinheiro, óleo de linhaça e pigmentos e juta; – Biodegradável.
<b>IMPERMEABILIZANTES</b>			
<b>Membrana EPDM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>– Durável;</li> <li>– Não tóxico;</li> <li>– Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Coberturas planas	<b>Firestone RubberGard</b> – Composto por EPDM.

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
GESSOS			
Gesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Tectos falsos e divisórias interiores	<b>Knauf</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Placas compostas por gesso e fibras de vidro;</li> <li><math>\lambda = 0,16 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul> <b>Pladur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Placas compostas por gesso e fibras de celulose;</li> <li>Bom isolamento térmico e acústico;</li> <li>Reciclável.</li> </ul>
		Reboco	<b>Gesso Lime</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pasta composta por areia, agregados naturais, cal hidráulica e aditivos.</li> </ul>
CIMENTOS			
Ligantes alcalinos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matérias-primas renováveis;</li> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Assentamento de alvenarias e pavimentos	Ligantes alcalinos
		Rebocos interiores e exteriores	
		Alvenarias e estruturas em betão	
Cimento ecológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>Durável;</li> <li>Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Revestimentos	<b>Eco-cement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pasta composta por magnésio e cinzas;</li> <li>Absorve CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
			<b>EcoRock</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composto por cimento e desperdícios siderúrgicos (80% reciclado).</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
ARGAMASSAS			
Argamassas de cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>Durável;</li> <li>Reciclável/reutilizável;</li> <li>Com baixa energia incorporada.</li> </ul>	Assentamento de alvenarias	<b>Limetec</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pasta composta por areia e cal hidráulica.</li> </ul>
		Rebocos interiores e exteriores	
TIJOLOS			
Tijolo de silicato de cálcio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matérias-primas renováveis;</li> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Alvenarias	<b>Lime Silica-Bricks</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tijolos compostos por areia e cal;</li> <li>Pode conter resíduos de outras indústrias.</li> </ul>
BETÕES			
Betão celular autoclavado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>Durável;</li> <li>Não tóxico;</li> <li>Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Alvenarias e paredes interiores	<b>Blocos de betão celular autoclavado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Blocos compostos por PFA (50% reciclado), areia, cal, cimento, alumínio e água;</li> <li>Reutilizável.</li> </ul>
		Preenchimento de lajes nervuradas, mistas e pré-fabricadas	<b>Precon</b>
Betão reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com resíduos de outras indústrias;</li> <li>Durável;</li> <li>Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	Estruturas	<b>Limecrete</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pasta composta por cal e agregados reciclados.</li> </ul>
		Coberturas	<b>Telha de betão</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composto por agregados (12,5% reciclado), cimento, corante.</li> </ul>

(Continuação do Quadro 3.2)

MATERIAIS	DESCRIÇÃO	APLICAÇÃO	PRODUTOS
METAIS			
Aço	<ul style="list-style-type: none"><li>– Matérias-primas renováveis;</li><li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li><li>– Durável;</li><li>– Não tóxico;</li><li>– Reciclável/reutilizável;</li><li>– Com baixa energia incorporada.</li></ul>	Coberturas e fachadas	<b>Met-Tile</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Painéis compostos por aço reciclado.</li></ul>
		Estruturas de divisórias e tectos falsos	<b>Aço leve (LSF)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por aço moldado a quente/frio.</li></ul>
		Revestimento de paredes	<b>Pastilhas Inox Premium</b>
Alumínio	<ul style="list-style-type: none"><li>– Matérias-primas renováveis;</li><li>– Com baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li><li>– Durável;</li><li>– Reciclável/reutilizável.</li></ul>	Caixilharias de janelas e portas exteriores	<b>Kalwall</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Moldura de alumínio (sendo 20-25% do alumínio reciclado).</li></ul>
		Estruturas de divisórias interiores e tectos falsos	<b>Estruturas de alumínio reciclado</b>
VIDRO			
Vidro	<ul style="list-style-type: none"><li>– Durável;</li><li>– Reciclável/reutilizável.</li></ul>	Revestimentos de paredes	<b>Ecoglass</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por vidro reciclado.</li></ul>
			<b>ThermoPor</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Painéis compostos por vidro reciclado e materiais naturais inorgânicos incluindo perlite;</li><li>– Bom isolante térmico e acústico;</li><li>– <math>\lambda = 0,54 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li></ul>
		Revestimento de paredes e pavimentos interiores	<b>Indupart Decoran</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Composto por vidro reciclado;</li><li>– <math>\lambda = 1,04 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}</math>.</li></ul>
		Reboco	<b>Glaster</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Pasta composta por vidro esmagado e cal.</li></ul>

No Quadro 3.3 são apresentados valores referentes à energia incorporada, às emissões de CO<sub>2</sub> e à durabilidade de alguns materiais de construção.

**Quadro 3.3 - Parâmetros dos materiais de construção eco-eficientes [40], [41], [42], [51]**

<b>MATERIAIS</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>ENERGIA INCORPORADA [MJ/unidade]</b>	<b>EMISSIONES DE CO<sub>2</sub> [CO<sub>2</sub>/unidade]</b>	<b>DURABILIDADE [anos]</b>
<b>TERRA</b>				
<b>Taipa, adobe e blocos de terra comprimida</b>	kg	0,45	0,02	-
<b>Tijolo cerâmico</b>	kg	2,5 - 3,0	0,24	-
<b>Tijolo de barro</b>	kg	0,44	-	Vida útil do edifício
<b>Tijolo solo-cimento</b>	m <sup>3</sup>	2141	-	-
<b>Tijolo com agregados reciclados</b>	-	-	-	> 10
<b>Telhas cerâmicas</b>	kg	0,81	0,74	-
<b>Telhas de barro</b>	kg	6,5	0,45	50 – 70
<b>PEDRA</b>				
<b>Pedra local</b>	kg	0,79	-	-
<b>Pedra importada</b>	kg	6,8	-	-
<b>Telhas de ardósia reciclada</b>	-	-	-	> 60
<b>MADEIRAS</b>				
<b>Madeira</b>	kg	0,3 - 10,0	0,72	30
<b>Painel de madeira</b>	kg	11	0,72	-
<b>Isolamento de cortiça</b>	kg	26	-	-
<b>ISOLANTES TÉRMICOS E ACÚSTICOS</b>				
<b>Isolamento de lã animal</b>	kg	20,9	-	> 50
<b>Isolamento de cânhamo</b>	kg	10,5 - 33,0	-	Vida útil do edifício



(Continuação do Quadro 3.3)

<b>MATERIAIS</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>ENERGIA INCORPORADA [MJ/unidade]</b>	<b>EMISSIONES DE CO<sub>2</sub> [CO<sub>2</sub>/unidade]</b>	<b>DURABILIDADE [anos]</b>
<b>Isolamento à base de celulose</b>	kg	4,32	-	Vida útil do edifício
<b>Isolamento de fibras de madeira</b>	kg	15,12	-	-
<b>Isolamento de lã de rocha</b>	kg	16,92	-	Vida útil do edifício
<b>Isolamento de lã de vidro</b>	kg	32,04	1,35	Vida útil do edifício
<b>Isolamento de EPS</b>	kg	95,04	2,25	-
<b>TELHAS</b>				
<b>Telhas a partir de fibras vegetais</b>	kg	37	2,7	-
<b>Telhas de cimento</b>	-	-	-	> 60
<b>BORRACHA E PLÁSTICOS</b>				
<b>Telhas de borracha reciclada</b>	-	-	-	> 20
<b>Revestimento de borracha</b>	-	-	-	30
<b>PVC</b>	kg	70	-	-
<b>REVESTIMENTOS</b>				
<b>Linóleo</b>	kg	25	1,21	20 – 40
<b>IMPERMEABILIZANTES</b>				
<b>Membrana EPDM</b>	kg	120	-	50
<b>GESSOS</b>				
<b>Estuque</b>	kg	4,50 - 6,75	0,38	-
<b>Painel de gesso</b>	kg	1,8 - 6,1	0,12	-
<b>CIMENTOS</b>				
<b>Ligantes alcalinos</b>	ton	-	0,18	-

(Continuação do Quadro 3.3)

<b>MATERIAIS</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>ENERGIA INCORPORADA [MJ/unidade]</b>	<b>EMISSIONES DE CO<sub>2</sub> [CO<sub>2</sub>/unidade]</b>	<b>DURABILIDADE [anos]</b>
<b>ARGAMASSAS</b>				
<b>Argamassa de cimento</b>	kg	1,33 - 2,00	0,82	-
<b>Argamassa de cal</b>	.	.	0,38	> 100
<b>TIJOLOS</b>				
<b>Tijolo de silicato de cálcio</b>	kg	8,2	-	-
<b>BETÕES</b>				
<b>Betão</b>	kg	1,0 - 1,6	-	50
<b>Blocos de betão autoclavado</b>	kg	-	0,38	-
<b>METAIS</b>				
<b>Aço</b>	kg	32	-	21
<b>Aço com conteúdo reciclado</b>	kg	10,1 - 20,1	1,37	10 – 100
<b>Alumínio</b>	kg	201	-	-
<b>Alumínio com conteúdo reciclado</b>	kg	8,1	8,24	220
<b>VIDRO</b>				
<b>Vidro</b>	kg	10,0 - 15,9	0,85	-
<b>Vidro com conteúdo reciclado</b>	kg	7	-	-

NOTA: Os campos a branco correspondem à indisponibilidade de dados

Como síntese, conclui-se que a utilização de materiais eco-eficientes no sector da construção tem múltiplas vantagens, tanto a nível ambiental, como a nível económico e social.

Ao nível ambiental, o uso destes materiais reduz o consumo de recursos naturais não renováveis, o que ajuda a melhorar e a proteger os ecossistemas e a biodiversidade; reduz a quantidade de resíduos das construções que muitas vezes acabam em aterros; reduz as emissões de carbono durante o seu fabrico; são facilmente recicláveis; possibilitam a reutilização de

subprodutos industriais; a sua energia incorporada é menor; e diminui a dependência de fontes de energia convencionais (eléctrica).

Economicamente, os materiais eco-eficientes, tal como o nome indica, tornam as construções mais eficientes em termos energéticos através do uso adequado de isolamentos, que sejam ao mesmo tempo mais “amigos” do ambiente. E com o esgotamento das matérias-primas não renováveis (combustíveis fósseis) e, conseqüentemente, o aumento dos preços da energia, um edifício energeticamente eficiente levará a uma redução considerável da factura energética mensal.

Também ao se utilizar materiais eco-eficientes mais duráveis, o edifício necessitará de uma menor manutenção e substituição dos materiais, reduzindo, assim, os custos a longo prazo.

O uso de materiais da região onde se insira o edifício é outro factor económico positivo, pois apoia as economias locais e, ao mesmo tempo, é ambientalmente favorável, pois ajuda a reduzir as emissões de carbono causados pelo seu transporte.

Ao nível social as vantagens são na melhoria da saúde dos ocupantes do edifício construído, o que proporciona uma vida mais saudável, pois muitos dos materiais utilizados nas construções possuem substâncias químicas que põem em causa a qualidade do ar interior das habitações, que podem gerar graves problemas na saúde humana. Estes materiais permitem também que o edifício “respire”, pois os materiais eco-eficientes possibilitam um bom controlo de humidade, limitando, assim, o crescimento de fungos e outros contaminantes. O uso destes materiais em edifícios proporcionam também um maior conforto aos seus ocupantes, pois ao serem mais eficientes energeticamente propiciam uma temperatura interior nas habitações mais agradável ao longo de todo o ano.

Contudo, as construções com materiais eco-eficientes também possuem desvantagens, nomeadamente ao nível dos custos e disponibilidade destes materiais. Segundo alguns autores as construções “verdes” têm um maior custo inicial, pois o mercado dos materiais eco-eficientes ainda é escasso, o que faz com que sejam mais difíceis de adquirir e, conseqüentemente, aumenta o seu custo.

Assim, a utilização de materiais mais duráveis, com menor energia incorporada e mais eficientes e recicláveis, constituem alternativas para uma maior sustentabilidade dos materiais de construção.

Neste sentido, a importância que os materiais eco-eficientes adquirem para a construção sustentável, deve poder ser avaliada de modo a reforçar a mais-valia dos mesmos para o nível de desempenho dos edifícios.

Assim, a possibilidade de se poder quantificar o contributo de modificação dos materiais aplicados ou previstos aplicar em projectos ou obra de construção, reforça o nível de eficiência e de desempenho do sector da construção para o desenvolvimento sustentável.

Através do estudo do processo construtivo e da sua avaliação e modelação com recurso a modelos dinâmicos do tipo do *software EnergyPlus*, pode quantificar-se e qualificar-se o contributo desse processo de selecção de materiais eco-eficientes aplicáveis à constituição de edifícios.

## **4. AVALIAÇÃO DO CASO DE ESTUDO**

### **4.1 OBJECTIVO DO ESTUDO**

No seguimento do trabalho delineado com vista à determinação do contributo para a avaliação do valor dos materiais eco-eficientes na construção de edifícios de habitação, considerou-se muito importante identificar até que ponto a melhoria da introdução desses materiais contribui para a sustentabilidade do edifício.

Neste sentido, considerou-se que essa avaliação deveria seguir os procedimentos regulamentares aplicáveis em termos nacionais, que é dado pela avaliação do desempenho energético do edifício em estudo, seguido de uma avaliação dinâmica com simulação de substituição de materiais no mesmo objecto de estudo e com base nos resultados a obter, validar ou não o contributo dos materiais estudados para a sustentabilidade do edifício tendo em consideração o esperado melhor desempenho energético do mesmo, com a consequente poupança de recursos em termos de consumo energético global.

### **4.2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJECTO DE ESTUDO**

O edifício em estudo, designado por lote 2, trata-se de um edifício urbano destinado a habitação e comércio, localizado em Leiria, na freguesia dos Marrazes, zona climática I2-V1 Norte, à altitude de 126,61 metros. O edifício é constituído por seis pisos acima do solo, sendo o R/C destinado apenas a comércio, o sexto piso dirigido a arrumações (sótão) e os restantes quatro pisos são para habitação, e ainda possui uma cave destinada a garagens. Os pisos acima do R/C são compostos por duas fracções autónomas de tipologia T3 (4 ocupantes), uma zona de circulação comum (patamar de acesso às fracções autónomas e escadas) e caixa de elevador. As áreas das fracções autónomas são, respectivamente para o T3 direito e T3 esquerdo, 118,78 m<sup>2</sup> e 122,82 m<sup>2</sup> (incluindo varandas). O pé direito tem valor de 2,6 m e a área útil de pavimento é de 106,04 m<sup>2</sup>.

Relativamente à orientação das fachadas do edifício, a fachada principal encontra-se orientada a Sudeste, a fachada posterior está orientada a Noroeste e a fachada lateral esquerda está orientada a Sudoeste, e ambas estão em contacto com o exterior. A fachada lateral esquerda, a Nordeste, está em contacto com um edifício adjacente, que corresponde ao lote 1. Sobre o edifício adjacente não se tem conhecimento em relação à distribuição dos espaços interiores, pela qual se considera como envolvente interior.

A ventilação do edifício em estudo é feita naturalmente, no entanto, não existem dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis nas paredes de fachadas, em todos os

compartimentos principais. A porta de entrada da fracção autónoma é vedada em todo o seu perímetro. As instalações sanitárias dispõem de aberturas de saída de ar servidas por condutas de comunicação com o exterior. A passagem de ar entre os compartimentos principais e os de serviço são asseguradas através de frinchas nas portas. O único dispositivo de extracção mecânica que as fracções dispõem é o exaustor, que se encontra na cozinha. Assim, conclui-se que o edifício não satisfaz a Norma NP 1037-1 [52].

O estudo irá incidir sobre uma fracção autónoma de tipologia T3, situado no terceiro piso direito do referido edifício, sendo constituído por hall/corredor, sala, cozinha, três quartos e duas instalações sanitárias.

No Anexo I pode-se ver a planta de arquitectura da fracção autónoma em estudo.

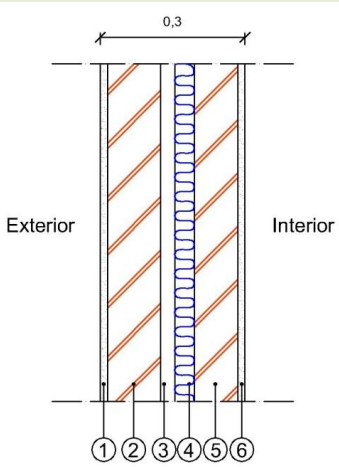
## 4.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

### 4.3.1 Envolvente exterior

#### Zona corrente

As paredes exteriores são duplas, sendo constituídas por tijolo 11 cm, caixa-de-ar, isolamento fixo ao pano interior preenchendo parcialmente a caixa-de-ar e tijolo 9 cm. Pelo lado interior o pano de alvenaria é revestido com reboco de estuque de 1,5 cm de espessura e pelo lado exterior é revestido com reboco de argamassa de cimento, igualmente com 1,5 cm de espessura.

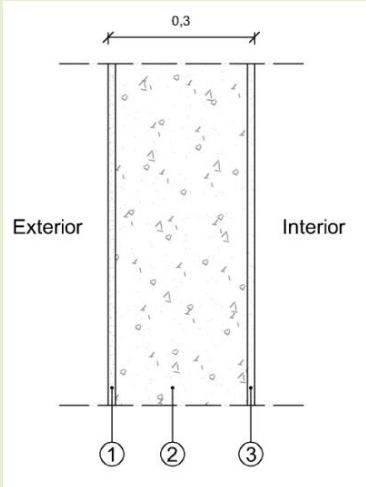
Quadro 4.1 - Envolvente exterior (zc)

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Envolvente exterior (zc)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de argamassa (0,015 m)</li> <li>2. Tijolo cerâmico furado (0,11 m)</li> <li>3. Caixa-de-ar (0,03 m)</li> <li>4. Isolamento lã de rocha (0,04 m)</li> <li>5. Tijolo cerâmico furado (0,09 m)</li> <li>6. Reboco de estuque (0,015 m)</li> </ol>

### Zona de ponte térmica plana

A zona de ponte térmica da parede exterior é constituída por betão armado com 27 cm de espessura, revestido exteriormente por 1,5 cm de reboco argamassa e interiormente por reboco de estuque com 1,5 cm.

**Quadro 4.2 - Envolvente exterior (ptp)**

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Envolvente exterior (ptp)</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Reboco de argamassa (0,015 m)</li><li>2. Betão armado (0,27 m)</li><li>3. Reboco de estuque (0,015 m)</li></ol>

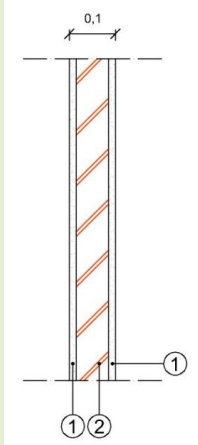
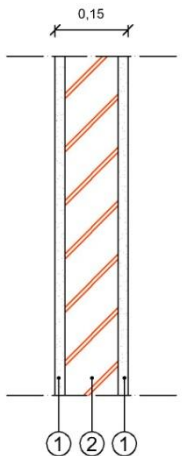
#### **4.3.2 Envolvente interior**

### Zona corrente

#### **Parede interior da fracção autónoma**

As paredes interiores da fracção autónoma são simples, sendo constituídas por tijolo e reboco de estuque.

**Quadro 4.3 - Paredes interiores da FA**

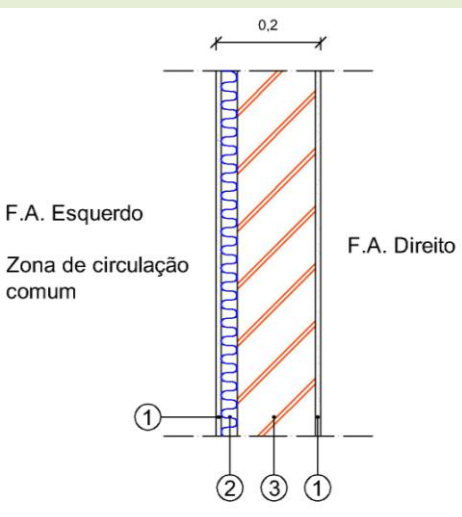
SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Paredes interiores da FA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de estuque (0,015 m)</li> <li>2. Tijolo cerâmico furado (0,07 m)</li> </ol>
	<p><b>Paredes interiores da FA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de estuque (0,02 m)</li> <li>2. Tijolo cerâmico furado (0,11 m)</li> </ol>

**Parede de separação das duas fracções autónomas e de separação da fracção autónoma com a zona de circulação comum**

As paredes interiores que separam as duas fracções autónomas (direito e esquerdo) do terceiro piso e que separam a fracção autónoma da zona de circulação comum, são constituídas por um pano simples de alvenaria de tijolo de 15 cm, revestido interiormente (zona de circulação comum) com reboco de estuque de 1 cm de espessura e com isolamento de lã de rocha de 3 cm e, exteriormente (fracção autónoma) revestido com reboco de estuque de 1 cm de espessura.



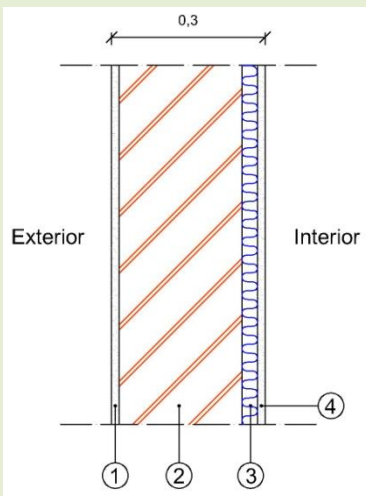
**Quadro 4.4 - Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (zc)**

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (zc)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de estuque (0,01 m)</li> <li>2. Isolamento lã de rocha (0,03 m)</li> <li>3. Tijolo cerâmico furado (0,15 m)</li> </ol>

#### **Parede de separação da fracção autónoma com o edifício adjacente**

A parede que separa a fracção autónoma em estudo e o edifício adjacente são constituídas por tijolo 24 cm e reboco de argamassa de cimento com 1,5 cm de espessura pelo exterior. Pelo lado interior possui um isolamento de 3 cm, sendo este revestido com reboco de estuque de 1,5 cm de espessura.

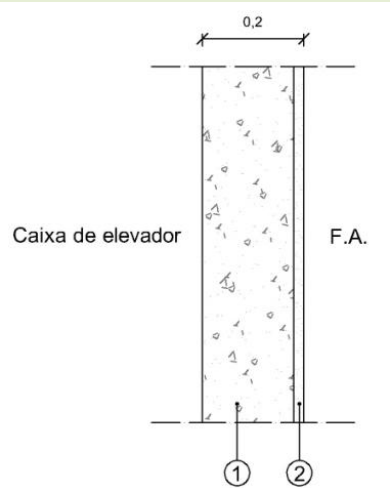
**Quadro 4.5 - Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (zc)**

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (zc)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de argamassa (0,015 m)</li> <li>2. Tijolo cerâmico furado (0,24m)</li> <li>3. Isolamento lã de rocha (0,03 m)</li> <li>4. Reboco de estuque (0,015 m)</li> </ol>

### **Parede de separação da fracção autónoma com a caixa de elevador**

A envolvente interior que separa a fracção em estudo e a caixa de elevador é composta por um elemento de betão armado de 18 cm de espessura revestido com reboco de gesso de 2 cm de espessura.

**Quadro 4.6 - Parede interior de separação da FA/caixa de elevador**

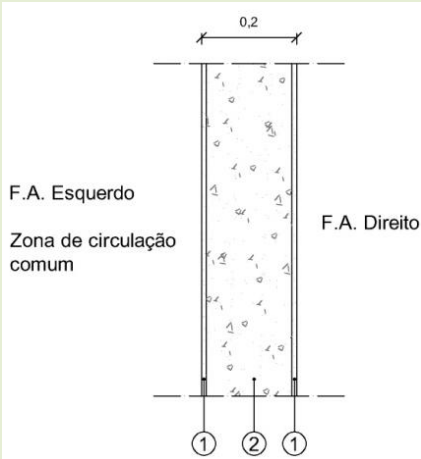
SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Parede interior de separação da FA/caixa de elevador</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Betão armado (0,18 m)</li><li>2. Reboco de estuque (0,02 m)</li></ol>

### **Zona de ponte térmica plana**

**Parede de separação das duas fracções autónomas e de separação da fracção autónoma com a zona de circulação comum**

A zona de ponte térmica plana nesta envolvente de separação é composta por betão armado com 18 cm de espessura, revestido interiormente e exteriormente por 1 cm de reboco de estuque.

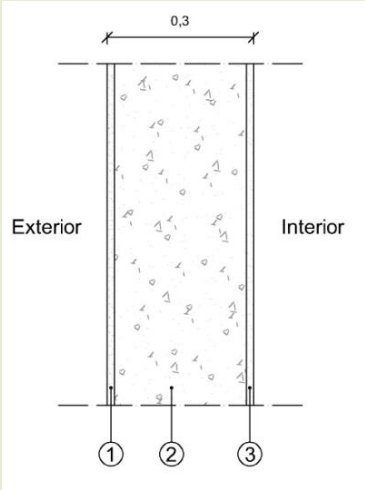
**Quadro 4.7 - Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (ptp)**

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Parede interior de separação das duas FA e da FA/zona de circulação comum (ptp)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Betão armado (0,18 m)</li> <li>2. Reboco de estuque (0,02 m)</li> </ol>

#### **Parede de separação da fracção autónoma com o edifício adjacente**

A zona de ponte térmica plana nesta envolvente de separação é formada por reboco exterior de argamassa com 1,5 cm de espessura, betão armado com 27 cm e interiormente revestida com reboco de estuque com 1,5 cm.

**Quadro 4.8 - Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (ptp)**

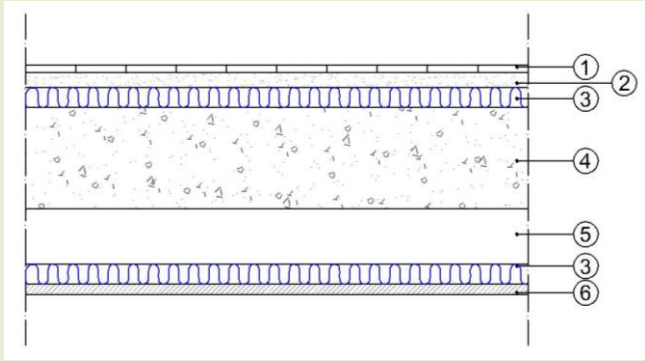
SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Parede interior de separação da FA/edifício adjacente (ptp)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reboco de argamassa (0,015 m)</li> <li>2. Betão armado (0,27 m)</li> <li>3. Reboco de estuque (0,015 m)</li> </ol>

#### 4.3.3 Laje entre pisos

O pavimento entre pisos é constituído por laje aligeirada com 20 cm de espessura, sobre a qual se encontra o isolamento em lã de rocha, betonilha de regularização em betão leve e o revestimento final (soalho flutuante e revestimento cerâmico).

O pavimento entre as fracções autónomas é ainda composto por tecto falso, com 4 cm de isolamento lã de rocha na caixa-de-ar e gesso cartonado.

Quadro 4.9 - Laje entre pisos

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	DESCRIÇÃO
	<p><b>Laje entre pisos</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Revestimento (0,015 m)</li><li>2. Betonilha de regularização (0,03 m)</li><li>3. Isolamento lã de rocha (0,04 m)</li><li>4. Betão armado (0,20 m)</li><li>5. Caixa-de-ar (0,11 m)</li><li>6. Gesso cartonado (0,02 m)</li></ol>

#### 4.3.4 Envidraçados exteriores

Os vãos envidraçados exteriores são verticais e do tipo simples, sendo constituídos por vidro duplo incolor de 6 mm e 4 mm separadas por uma lâmina de ar com espessura nominal de 16 mm. A caixilharia é de alumínio com corte térmico. Os dispositivos de oclusão nocturna são estores exteriores de alumínio, de cor cinzenta, com formação dum espaço de ar ventilado entre o dispositivo e a janela, e as cortinas interiores são muito transparentes, de cor clara.

Segundo o Quadro III.2 do ITE 50, o coeficiente de transmissão térmico médio dia-noite ( $U_{\text{wdn}}$ ) é de  $2,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

## 4.4 APLICAÇÃO DO RCCTE – OBTENÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO

### 4.4.1 Dados climáticos

De acordo com o RCCTE, a análise climática depende de diversos parâmetros que são essenciais no estudo térmico de um edifício. Esses parâmetros são os dados climáticos de referência; a energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul; a temperatura do ar exterior e a intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento.

Os dados climáticos de referência encontram-se discriminados por concelho no Anexo III, Quadro III.1 do RCCTE, disponibilizando informação referente à zona climática de Inverno e Verão, número de graus-dias de aquecimento (GD), duração da estação de aquecimento, temperatura exterior de projecto de Verão e amplitude térmica média diária do mês mais quente.

O valor de referência da energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a Sul ( $G_{sul}$ ) durante a estação de aquecimento, pode ser consultado no Anexo III, Quadro III.8 do RCCTE.

Para se obter os valores da temperatura do ar exterior ( $\theta_m$ ) e da intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento ( $I_r$ ), é necessário saber se a zona climática de Verão se encontra na região Norte ou na região Sul. Segundo o RCCTE, a região Norte abrange todos os concelhos situados acima do rio Tejo, enquanto a região Sul abrange todos os concelhos localizados abaixo do rio Tejo, incluindo ainda os concelhos de Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém. Os valores referidos podem ser obtidos no Anexo III, Quadro III.9 do RCCTE.

No Quadro 4.10 encontram-se os dados climáticos referentes ao local do edifício em estudo.

Quadro 4.10 - Dados climáticos

PARÂMETROS	DADOS
Zona climática Inverno	I2
Número de graus-dias de aquecimento (GD)	1610 °C.dias
Duração da estação de aquecimento	6 meses
Zona climática Verão	V1 Norte
Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul ( $G_{sul}$ )	93 kWh/m <sup>2</sup> .mês
Temperatura do ar exterior ( $\theta_m$ )	19 °C

#### 4.4.2 Levantamento dimensional das envolventes

Nos Quadros 4.11 e 4.12 apresentam-se as áreas dos elementos da envolvente exterior e interior, sendo a altura do talão de viga igual a 0,25 m.

Quadro 4.11 - Áreas dos elementos da envolvente exterior

ENVOLVENTE EXTERIOR (paredes)					
Orientação	Elemento	A <sub>total</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>envidraçado</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>ptp</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>zc</sub> [m <sup>2</sup> ]
NE	Quarto 2	1,31	-	0,13	1,19
SW	Sala	2,37	1,83	0,23	0,31
SW	Cozinha	0,54	-	-	0,54
SE	Cozinha	8,86	3,29	0,75	4,82
SE	Quarto 1	7,29	3,29	1,25	2,76
SE	Quarto 2	8,32	2,95	-	5,37
NW	Sala	15,96	2,95	-	13,01
NW	Quarto 3	9,02	3,29	1,61	4,12

Quadro 4.12 - Áreas dos elementos da envolvente interior

ENVOLVENTE INTERIOR (paredes)					
Espaço não útil	Elemento	A <sub>total</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>envidraçado</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>ptp</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>zc</sub> [m <sup>2</sup> ]
Zona de circulação comum	Hall	6,64	-	1,16	5,48
	Cozinha	9,15	-	1,92	7,23
	Sala	1,66	-	-	1,66
	Porta de entrada	1,74	-	-	1,74
Caixa de elevador	Hall	0,90	-	0,52	0,38
	Sala	3,52	-	-	3,52
Edifício adjacente	Quarto 2	13,28	-	2,32	10,96
	I.S. 1	7,77	-	1,79	5,99
	Quarto 3	11,16	-	1,39	9,77

#### 4.4.3 Verificação dos requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmico

Conforme o RCCTE, o coeficiente de transmissão térmico em zona corrente dos diferentes elementos da envolvente do edifício em estudo, não pode ser superior ao valor do coeficiente de transmissão térmico máximo admissível e ao valor do coeficiente de transmissão

térmico de referência. Os valores dos coeficientes de transmissão térmicos máximos admissíveis e de referência encontram-se, respectivamente, no Anexo IX, Quadro IX.1 e Quadro IX.3, do RCCTE.

Nas zonas de ponte térmica plana (vigas, pilares e caixa de estore), o RCCTE estabelece um valor de  $U$  superior ao dobro do valor de  $U$  correspondente na zona corrente, ou seja,  $U_{ptp} \leq 2U_{zc}$ .

No Quadro 4.13 verifica-se que os valores dos coeficientes de transmissão térmicos calculados, tanto em zona corrente, como em zona de ponte térmica plana, encontram-se dentro dos limites regulamentares.

**Quadro 4.13 - Verificação dos requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmico**

Elementos da envolvente		U da solução construtiva [W/ m <sup>2</sup> .°C]	U de referência [W/ m <sup>2</sup> .°C]	U máximo admissível [W/ m <sup>2</sup> .°C]	Verificação
Parede exterior	ZC	0,53	0,60	1,60	Regulamentar
	PTP	2,92	$2U_{zc} = 1,06$	1,60	Não regulamentar
Parede interior de separação da F.A. com a zona de circulação comum	ZC	0,64	1,20	2,00	Regulamentar
	PTP	2,60	$2U_{zc} = 1,28$	2,00	Não regulamentar
Parede interior de separação da F.A. com a caixa de elevador	ZC	2,60	1,20	2,00	Não regulamentar
Parede interior de separação da F.A. com o edifício adjacente	ZC	0,62	1,20	2,00	Regulamentar
	PTP	2,31	$2U_{zc} = 1,24$	2,00	Não regulamentar

#### 4.4.4 Necessidades energéticas

##### 4.4.4.1 Necessidades de aquecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo IV do RCCTE, a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter o seu interior à temperatura de referência de 20 °C ( $N_{ic}$ ), é a indicada no Quadro 4.14, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de aquecimento ( $N_i$ ).

**Quadro 4.14 - Necessidades de aquecimento**

$N_{ic}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_i$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_{ic} \leq N_i$
43,88	68,10	Regulamentar

As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de aquecimento (FC IV.1a a FC IV.1f e FC IV.2) encontram-se no Anexo II.6.

#### 4.4.4.2 Necessidades de arrefecimento

De acordo com a metodologia descrita no Anexo V do RCCTE, a energia útil que é necessário retirar à fracção autónoma para manter o seu interior à temperatura de referência de 25 °C ( $N_{vc}$ ), é a indicada no Quadro 4.15, onde se indica o valor limite das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_v$ ).

**Quadro 4.15 - Necessidades de arrefecimento**

$N_{vc}$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_v$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	$N_{vc} \leq N_v$
1,47	16,00	Regulamentar

As folhas de cálculo utilizadas para determinar as necessidades de arrefecimento (FC V.1a a FC V.1g) encontram-se no Anexo II.6.

## 4.5 MODELAÇÃO ATRAVÉS DA FERRAMENTA *ENERGYPLUS*

Neste ponto da dissertação é feita uma abordagem descritiva ao *software EnergyPlus* utilizado para a elaboração do presente trabalho. Deste modo, pretende-se demonstrar os vários campos de entrada a preencher para a obtenção dos dados pretendidos. São ainda definidos os pressupostos utilizados para a definição do modelo de cálculo dinâmico, para a estação de arrefecimento (Verão) e para a estação de aquecimento (Inverno). Os pressupostos são definidos de acordo com os dados do RCCTE, de modo a se poder comparar os valores obtidos pelos dois métodos, *EnergyPlus* e RCCTE.



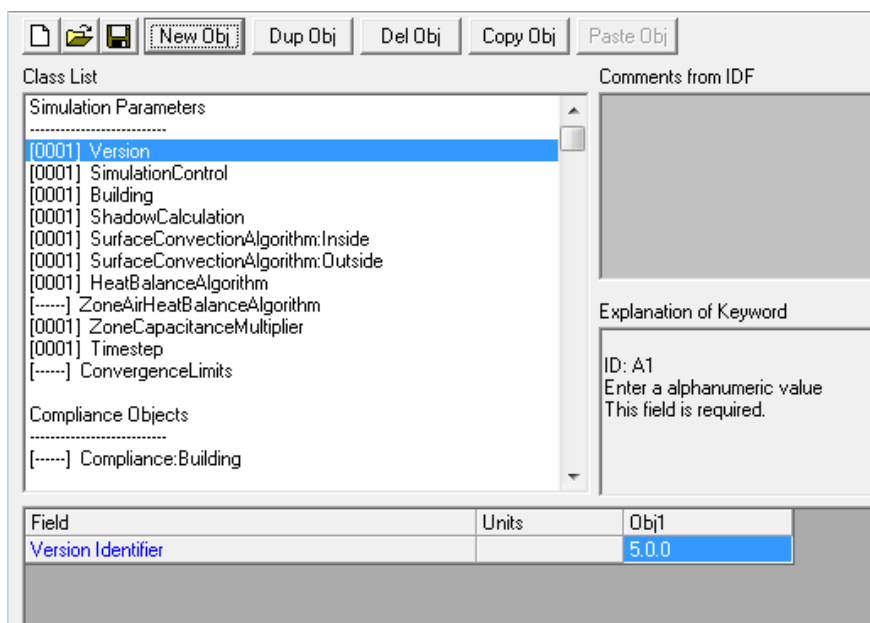
#### 4.5.1 Campos de entrada de valores do *EnergyPlus*

Seguidamente, são descritos de forma sintética os campos de entrada do *EnergyPlus* utilizados na elaboração do presente trabalho. Cada campo engloba um conjunto de comandos que permitem a inserção dos dados essenciais para a elaboração da simulação.

Os dados introduzidos dizem respeito à localização da fracção autónoma, envolvente e padrões de utilização. A partir destes é possível obter resultados do desempenho energético da habitação.

##### **Simulation Parameters (Parâmetros de simulação)**

Neste campo introduzem-se os dados principais necessários para a definição da fracção autónoma em estudo (Figura 4.1).



**Figura 4.1 - Definição dos parâmetros de simulação no *EnergyPlus***

Os parâmetros a inserir pelo utilizador são a versão do *software* que está a utilizar (neste caso, versão 5.0.0), o algoritmo de convecção interior e exterior e o algoritmo de transferência de calor pela envolvente. São ainda necessários introduzir dados referentes ao sombreamento (*Shadow Calculation*) e à localização do edifício (*Building*) e definir o intervalo de tempo da simulação (*Timestep*).

O algoritmo de transferência de calor considerado para a envolvente do edifício foi o *ConductionTransferFunction*, que considera apenas a transmissão de calor e despreza o armazenamento de humidade nos elementos construtivos.

No comando *Building* introduziu-se a orientação do edifício/fracção autónoma relativamente ao Norte (-115°), a zona de implantação (cidade), as tolerâncias de convergência quer de temperaturas quer de cargas, a distribuição solar e o número máximo de dias de teste para a verificação das respectivas convergências. Na distribuição solar (*Solar Distribution*) considerou-se *FullExterior* devido à geometria da fracção autónoma, pois toda a radiação transmitida para o interior da zona é absorvida pelo pavimento. O número máximo de dias de teste considerados para a verificação das convergências foram 25.

Relativamente ao sombreamento do edifício, considerou-se que as mudanças significativas da posição solar ocorreriam de 20 em 20 dias.

No comando *Timestep*, definiu-se o intervalo de tempo de simulação inferior a uma hora, de modo a obter-se resultados mais pormenorizados ao longo do dia. O programa só permite a introdução de valores de *Timestep* que sejam divisíveis por 60 e o valor optado neste estudo foi de 4. Assim, a análise comportamental do edifício é realizada de 15 em 15 minutos.

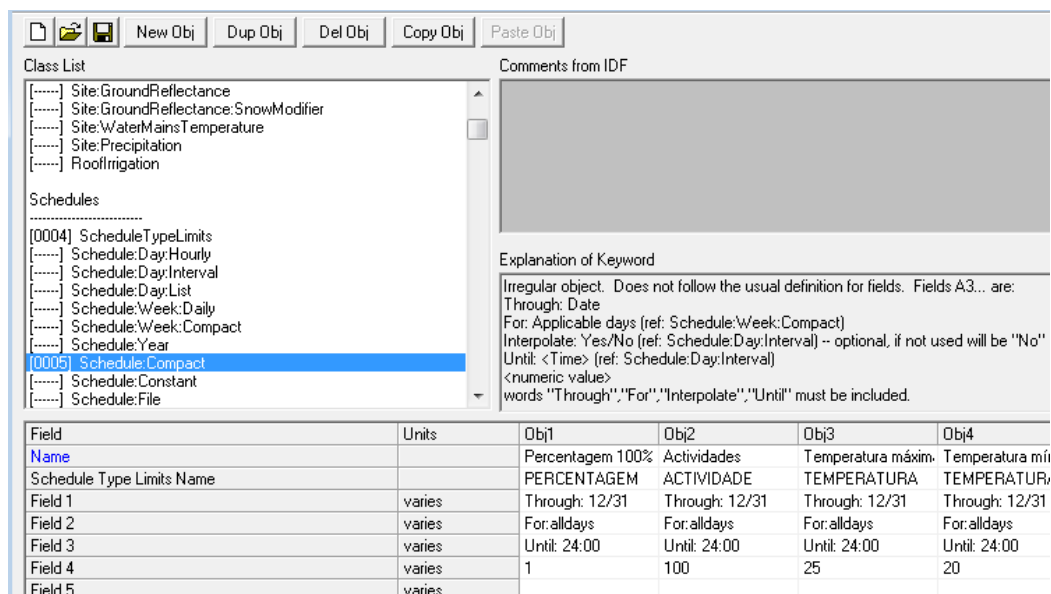
### **Location and Climate (Localização e Clima)**

No campo *Location and Climate* foram apenas introduzidos dados referentes ao período de simulação (*Run Period*), onde são inseridos o dia e mês de início e fim da simulação pretendida. No presente caso de estudo foram definidos dois períodos, que correspondem às estações de aquecimento (Inverno) e arrefecimento (Verão), com as durações definidas pelo RCCTE e sempre com a duração de 1 ano.

### **Schedules (Horários)**

Neste campo determina-se o grau de utilização e operação da fracção autónoma, através da definição das actividades e controlo de temperatura.

De maneira a aceder a todos os *Schedules* num único comando, optou-se por utilizar o comando *Schedule:Compact* (Figura 4.2), tornando mais fácil e rápida a introdução de dados e posterior consulta dos mesmos. Contudo, para que este campo funcione, é necessário estabelecer uma ligação com o comando *ScheduleTypeLimits*, onde são estabelecidos os limites máximos e mínimos dos valores existentes no *Schedule:Compact* e o tipo de variáveis, discretas ou contínuas.



**Figura 4.2 - Definição dos *schedules* no *EnergyPlus***

### **Surface Construction Elements (Materiais e Elementos da Envolvente)**

Neste campo são introduzidos os materiais (*Material*) e as soluções construtivas existentes em toda a envolvente exterior e interior da fracção autónoma (*Construction*), assim como o tipo de vidro utilizado nos vãos envidraçados (*WindowMaterial:Glazing* e *WindowMaterial:Gas*) e a respectiva protecção solar (*WindowMaterial:Shade*).

No comando *Material* são introduzidos os dados referentes à caracterização dos materiais: rugosidade, espessura, condutibilidade térmica (valores retirados do ITE 50), densidade e calor específico.

Uma vez que a envolvente exterior da fracção autónoma é composta por paredes duplas, a respectiva caixa-de-ar é introduzida no comando *Material:AirGap*, sendo também o valor das suas resistências térmicas retiradas do ITE 50.

No comando *Construction* (Figura 4.3) são definidas as soluções construtivas descritas no ponto 4.3 desta dissertação. Os materiais de cada solução construtiva têm de ser introduzidos do exterior para o interior.

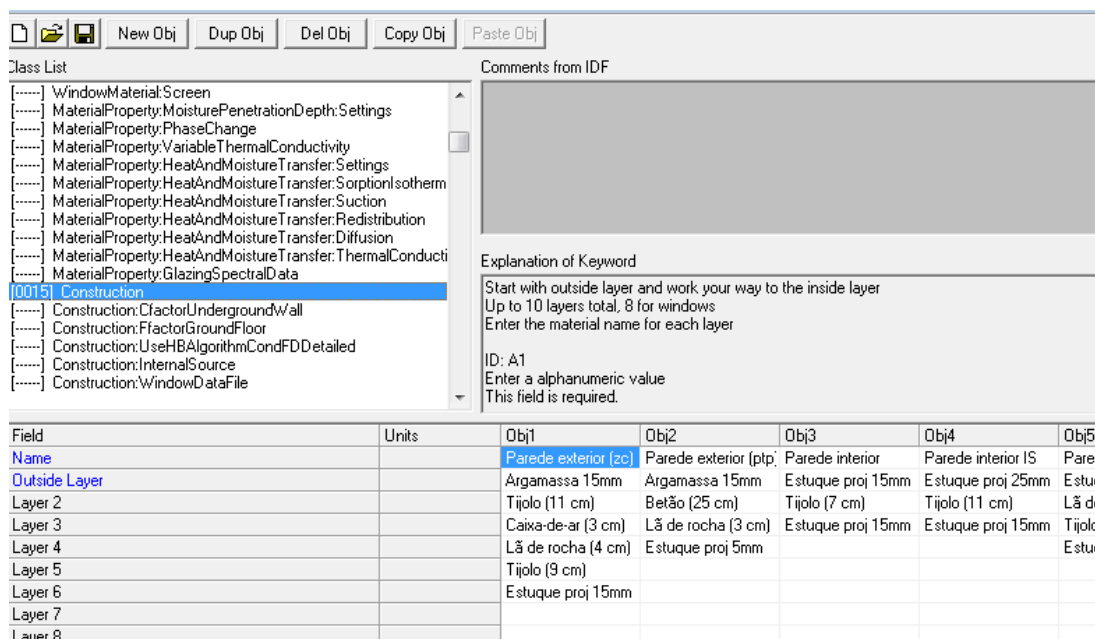


Figura 4.3 - Definição das soluções construtivas no *EnergyPlus*

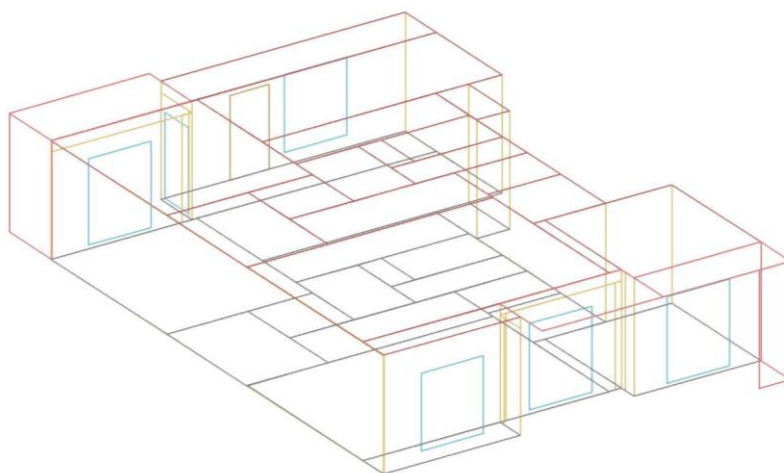
### Thermal Zones and Surfaces/Geometry (Zonas Térmicas e Superfícies)

O *EnergyPlus* define Zona como um conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. No caso em estudo, a fracção autónoma corresponde a uma única zona térmica que foi definida no comando *Zone* e indicando posteriormente no comando *BuildingSurface:Detailed*, quando se elabora a geometria do edifício.

No comando *BuildingSurface:Detailed* definem-se as superfícies opacas que são atravessadas por fluxo de calor, como paredes, pilares, vigas e pavimentos, a zona a que pertencem as soluções construtivas e previamente definidas no comando *Construction*, as condições adjacentes à parede e ainda a sua exposição ao sol e ao vento. Para a definição da geometria da fracção autónoma considerou-se como primeiro vértice o canto inferior esquerdo de cada superfície, sendo os vértices seguintes definidos de acordo com o sentido contrário aos ponteiros do relógio.

Neste campo são ainda definidos os vãos envidraçados (*FenestrationSurface:Detailed*) e as propriedades das caixilharias (*WindowProperty:FrameAndDivider*), os sombreamentos imóveis (*Shading:Zone:Detailed*), os dispositivos de sombreamento e suas características (*WindowProperty:ShadingControl*) que, neste caso, são estores, e a áreas das paredes interiores (*InternalMass*).

Com a introdução destes dados mencionados é possível pedir uma representação em 3D da fracção autónoma em estudo (Figura 4.4).



**Figura 4.4 - Representação da fracção autónoma em estudo no *EnergyPlus***

### **Internal Gains (Ganhos Internos)**

O *EnergyPlus* pode contabilizar os ganhos internos de uma determinada zona como sendo devido a diversas fontes, como a iluminação artificial (*Lights*), os equipamentos (*ElectricEquipment*) e a ocupação humana (*People*) presentes nessa mesma zona (Figura 4.5).

Internal Gains

[.....] People

[.....] ComfortViewFactorAngles

[0001] Lights

[0001] ElectricEquipment

[.....] GasEquipment

[.....] HotWaterEquipment

[.....] SteamEquipment

[.....] OtherEquipment

[.....] ZoneBaseboard:OutdoorTemperatureControlled

Daylighting

[.....] Daylighting:Controls

Explanation of Keyword

Sets internal gains for occupants in the zone.

ID: A1

Enter a alphanumeric value

This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Habitantes
Zone Name		Piso 3
Number of People Schedule Name		Ocupação
Number of People Calculation Method		People
Number of People		4
People per Zone Floor Area	person/m2	
Zone Floor Area per Person	m2/person	
Fraction Radiant		0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		Actividades
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No

**Figura 4.5 - Definição dos ganhos internos no *EnergyPlus***

### **Zone Airflow (Renovação de ar)**

Neste campo é contabilizada a quantidade de ar proveniente do exterior que se infiltra directamente no interior de cada zona térmica, sendo que o modelo de ar utilizado consiste apenas na infiltração de ar que ocorre de forma natural na fracção autónoma. Para tal, recorreu-se ao comando *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* onde se definiu a taxa de renovação horária.

De modo a assumir que esta ocorreria em todas as horas ao longo do ano, foi necessário criar um *schedule* referente à infiltração.

### **Zone HVAC Controls and Thermostats (Controlo de Aquecimento e Arrefecimento)**

Neste campo definiu-se para a zona em estudo o controlo térmico pretendido, ou seja, definiram-se os valores de temperatura que se pretende que o edifício assuma ao longo do ano. As temperaturas consideradas na análise do comportamento térmico de Inverno e de Verão foram de 20 °C e 25 °C, respectivamente.

Para que a temperatura se mantenha nos intervalos de temperatura definidos é necessário o funcionamento de equipamentos na zona em que se pretende esse controlo de temperatura. Para definir os equipamentos a utilizar nas zonas onde se pretende controlar a temperatura são introduzidos os dados no comando *ZoneHVACForcedAirUnits* que é desenvolvido no ponto seguinte. A definição dos limites máximos e mínimos das temperaturas é conseguida com recurso ao campo *Schedules*.

### **Zone HVAC Forced Air Units (Unidades de ar forçado)**

Para a definição dos parâmetros dos equipamentos utilizados para aquecimento e arrefecimento, utilizou-se o comando *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem*.

O equipamento inserido na zona em estudo corresponde a um sistema virtual, ou seja, um sistema 100% eficiente, sem ganhos internos e que permitem manter a temperatura no intervalo desejado (de 20 °C a 25 °C), adicionando e retirando carga térmica conforme as necessidades da fracção autónoma.

Neste comando optou-se por *NoOutdoorAir* de forma a que o funcionamento dos equipamentos de climatização não afectem a taxa de renovação de ar definida.

### **Zone HVAC Equipment Connections (Conexão de equipamentos AVAC)**

Este campo está directamente relacionado com o campo anterior e é neste local que é definido o equipamento fictício a colocar na zona em estudo, zona essa onde se pretende obter conforto e controlo de temperatura.

No comando *ZoneHVAC:EquipmentList* define-se o equipamento virtual e no comando *ZoneHVAC:EquipmentConnections* definem-se os nós de entrada e saída de ar de forma a construir um ciclo na zona HVAC.

### **Output Reporting (Relatório de Simulação)**

O campo *Reports* é a última secção do programa e permite seleccionar todas as variáveis cujos resultados se pretendem analisar.

Os *reports* têm por finalidade a obtenção através do *EnergyPlus* de relatórios sob a forma de *output*.

O *EnergyPlus* pode fornecer uma vasta lista de resultados e o utilizador é que escolhe quais as variáveis que pretende com recurso ao campo *Output:Variable*, no qual se define a frequência dos valores solicitados. Neste caso, foram solicitadas as variáveis dos ganhos e perdas por condução que ocorrem pela envolvente opaca (*Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Gain Energy* e *Zone Opaque Surface Inside Face Conduction Loss Energy*). Solicitou-se também as variáveis referentes aos ganhos e perdas que ocorrem pelos vãos envidraçados (*Window Heat Gain Energy* e *Window Heat Loss Energy*) e as variáveis correspondentes aos equipamentos (*Electric Equipment Total Heat Gain*), iluminação (*Lights Total Heat Gain*) e ocupação humana (*People Total Heat Gain*). Além das variáveis referidas, foram solicitadas ainda *Ideal Loads Air Heating Energy* e *Ideal Loads Air Total Cooling Energy* que correspondem às necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, respectivamente, e as variáveis *Zone Infiltration Total Heat Gain* e *Zone Infiltration Total Heat Loss* resultantes dos ganhos e perdas por renovação de ar.

#### **4.5.2 Pressupostos para a estação de aquecimento (Inverno)**

Segundo o RCCTE, a duração da estação de aquecimento varia de concelho para concelho. No caso em estudo, o Inverno assume uma duração de 6 meses, como já foi referido no ponto 4.4.1, sendo que no *EnergyPlus* foi considerado que esta estação compreende todos os dias entre 15 de Outubro e 14 de Abril.

Relativamente aos ganhos internos, o RCCTE define para os edifícios residenciais um valor de  $4 \text{ W/m}^2$ , sendo que, no *EnergyPlus*, embora seja possível determinar este valor consoante os hábitos dos ocupantes ao longo do ano, optou-se por considerar o mesmo valor definido pelo regulamento.

Quanto à taxa de renovação de ar, o valor introduzido no *EnergyPlus* foi o valor determinado pelo RCCTE, consoante a classe de exposição do edifício, a presença de dispositivos de admissão de ar na fachada e a classe da caixilharia.

Para controlo dos dispositivos de sombreamento móveis de protecção dos vãos envidraçados (estores), considerou-se que, durante a noite, os dispositivos estão activos e desactivados durante o dia.

#### **4.5.3 Pressupostos para a estação de arrefecimento (Verão)**

De acordo com o RCCTE, a duração da estação de arrefecimento, ao contrário do que ocorre com a estação de aquecimento que é variável, apresenta a mesma duração para todos os concelhos, compreendendo o período entre o dia 1 de Junho até ao dia 30 de Setembro.

A definição dos ganhos internos e da taxa de renovação de ar é igual à situação da estação de aquecimento sendo, portanto, constantes.

Relativamente aos dispositivos de sombreamento móveis de protecção dos vãos envidraçados, segundo a regulamentação (RCCTE), para a estação de arrefecimento, assume-se que estão activados a 70%. No entanto, no *EnergyPlus*, admitiu-se que durante a noite os dispositivos estão activos se a temperatura exterior for inferior a  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , e durante o dia se o sistema de climatização estiver a refrigerar a zona.

#### **4.6 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS - RCCTE VS *ENERGYPLUS***

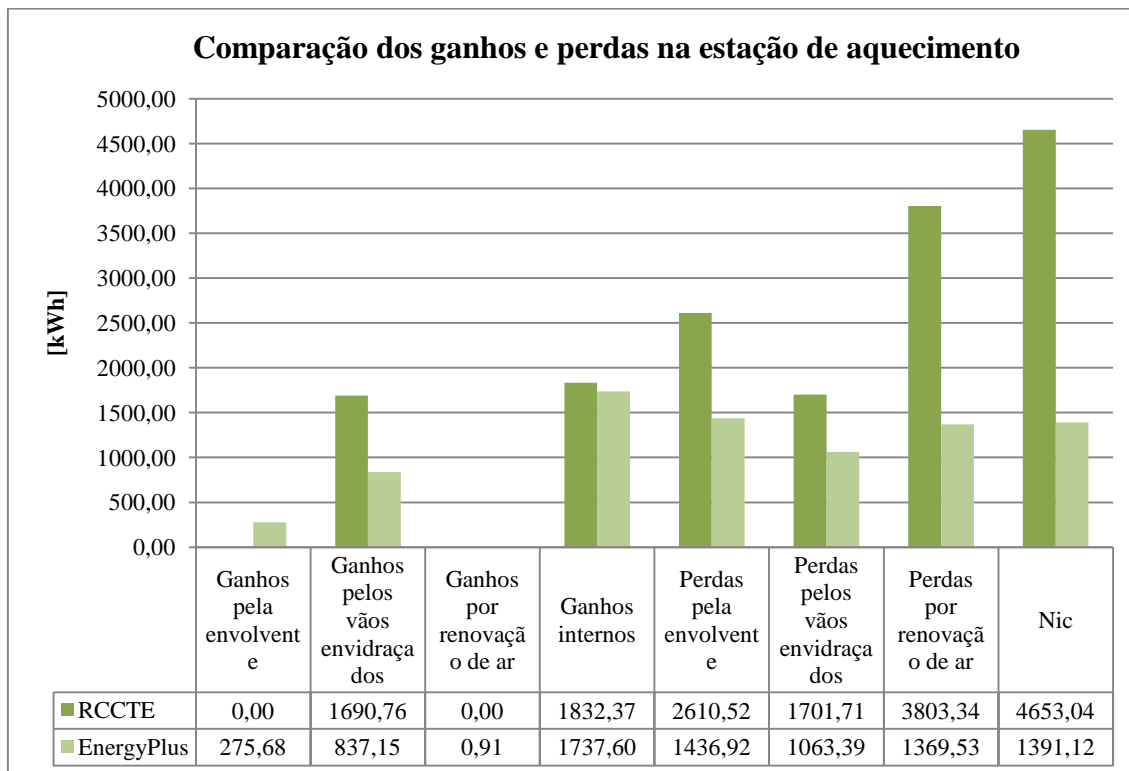
Depois de criado o modelo de simulação, é feita uma comparação entre os resultados obtidos pelo RCCTE e o *EnergyPlus*, para os períodos de Inverno e Verão.

Os resultados obtidos a partir do *software EnergyPlus* servem de base de comparação para a análise das várias propostas de melhoria aplicadas neste caso de estudo.



#### 4.6.1 Estação de aquecimento (Inverno)

Na Figura 4.6 são apresentados os resultados obtidos pelas duas metodologias, RCCTE e *EnergyPlus* para a estação de aquecimento.



**Figura 4.6 - Comparação dos ganhos e perdas na estação de aquecimento - RCCTE vs EnergyPlus**

Analisando os resultados obtidos para a estação de aquecimento, verificou-se que as necessidades energéticas resultantes do *EnergyPlus* são inferiores às obtidas pelo RCCTE, apresentando uma diferença de 3261,92 kWh. A grande diferença de valores deve-se essencialmente à diferença verificada nas perdas, nomeadamente nas perdas por renovação de ar, em que esta é mais acentuada. Apesar de se utilizar a mesma taxa de renovação de ar nos dois métodos, obteve-se um valor maior pelo RCCTE. A elevada diferença das perdas por renovação de ar deve-se ao facto do método de cálculo do RCCTE ser muito diferente do *EnergyPlus*.

Os valores obtidos dos ganhos internos são relativamente próximos, uma vez que se considerou o mesmo valor pelo dois métodos, sendo que no *EnergyPlus*, os ganhos internos são obtidos apenas à custa da ocupação da fracção autónoma.

No que diz respeito aos ganhos e perdas pelos vãos envidraçados, tanto pelo RCCTE, como pelo *EnergyPlus*, existem mais perdas do que ganhos. No entanto, pelo *EnergyPlus* os

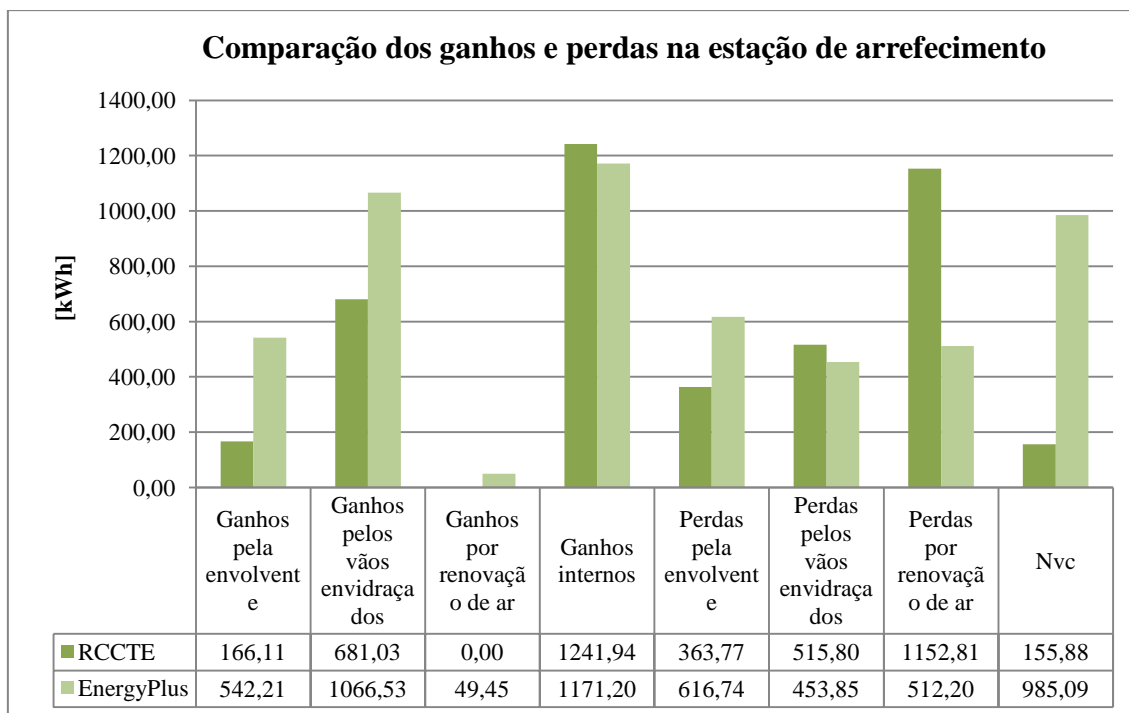
valores obtidos são menores e existe ainda uma maior diferença entre as perdas e os ganhos. Isto verifica-se porque o RCCTE considera um valor constante do factor solar, contudo este varia com a posição solar. O *EnergyPlus*, ao contrário do RCCTE, calcula o factor solar em função do factor solar do vidro e da protecção. Além disso, pelo *EnergyPlus* obtém-se um resultado mais rigoroso, uma vez que este tem em conta as dimensões da caixilharia, a sua condutância e outras características, para além das características do vidro.

Quanto às perdas pela envolvente, o valor obtido no *EnergyPlus* é inferior ao do RCCTE (1173,60 kWh). Esta diferença deve-se ao facto do *EnergyPlus* partir do pressuposto que as trocas de calor por condução através dos elementos construtivos decorrem com um fluxo unidireccional, no entanto, nos elementos de construção existem zonas onde esta hipótese não se verifica, como é o caso das pontes térmicas lineares. Assim, o *EnergyPlus* contabiliza uma superfície de área reduzida, com o valor de condutibilidade térmica que traduz o mesmo efeito causado por pontes térmicas lineares. Desta forma, a área considerada poderá ser inferior à que realmente traduz o valor das pontes térmicas lineares. Outro motivo é o facto de o *EnergyPlus* não ter considerado que haviam trocas de calor pela envolvente interior de separação da fracção autónoma com o edifício adjacente e a zona de circulação comum.

Contudo, existe outro factor para que os resultados obtidos entre o RCCTE e o *EnergyPlus* sejam muito diferentes, nomeadamente nas perdas pela envolvente, por renovação de ar e pelos vãos envidraçados. Uma vez que o edifício se situa em Leiria, no RCCTE considerou-se os dados climáticos (zona climática, número de graus-dias de aquecimento e o  $G_{sul}$ ) correspondente à cidade onde o edifício se insere. No entanto, no *EnergyPlus*, foi utilizado o ficheiro climático referente à cidade mais próxima onde o edifício se insere, mais propriamente Coimbra, por não haver um ficheiro corresponde à cidade de Leiria. Daí haver uma maior diferença entre os valores obtidos, levando assim a menores necessidades de aquecimento pelo *EnergyPlus*.

#### **4.6.2 Estação de arrefecimento (Verão)**

Para a estação de arrefecimento, os valores obtidos para as duas metodologias, RCCTE e *EnergyPlus* são os que se apresentam na Figura 4.7.



**Figura 4.7 - Comparação dos ganhos e perdas na estação de arrefecimento - RCCTE vs EnergyPlus**

Ao contrário do que se verificou para a estação de aquecimento, os valores das necessidades de arrefecimento obtidos pelo *EnergyPlus* são muito superiores às obtidas pelo RCCTE (na ordem dos 829,22 kWh). Esta diferença deve-se essencialmente aos elevados ganhos pelos vãos envidraçados e pela envolvente obtidos pelo *EnergyPlus*.

Comparando os ganhos e perdas pelos vãos envidraçados, verificou-se que o RCCTE apresenta menores ganhos e maiores perdas relativamente ao *EnergyPlus*. Isto acontece pelas razões referidas na estação de aquecimento.

Relativamente às perdas e ganhos pela envolvente opaca, verificou-se que pelo *EnergyPlus*, tanto as perdas como os ganhos são superiores, comparativamente ao RCCTE. A razão para este facto poderá ser porque, segundo o RCCTE, na estação de arrefecimento não são contabilizadas as pontes térmicas lineares para efeitos de perdas nem de ganhos, e no *EnergyPlus*, como se trata de uma área reduzida na fachada, com um coeficiente de transmissão térmico equivalente, sempre que exista diferenças de temperatura entre o meio interior e exterior, haverá fluxo de calor e portanto perdas ou ganhos térmicos.

Os ganhos internos apresentam aqui valores inferiores aos obtidos para a estação de aquecimento. Os valores obtidos pelos RCCTE e pelo *EnergyPlus* são próximos pelas razões descritas na estação de aquecimento.

Em relação às perdas por renovação de ar, tal como acontece na estação de aquecimento, estas são superiores pelo RCCTE, comparativamente com o *EnergyPlus*.

É ainda necessário ter em conta, tanto na estação de arrefecimento, como de aquecimento, que o *EnergyPlus* considera a utilização de equipamentos de climatização sempre que a temperatura seja superior a 25°C ou inferior a 20°C. Porém, o RCCTE considera que os aparelhos para aquecimento e arrefecimento apenas funcionam 10% do tempo total considerado, ou seja, apenas 10% dos meses de aquecimento e 10% dos meses de arrefecimento.

Na estação de arrefecimento, por se utilizar o ficheiro climático de Coimbra, os resultados obtidos pelo *EnergyPlus* são influenciados, nomeadamente no que diz respeito aos ganhos pelos vãos envidraçados e pela envolvente, uma vez que os valores de  $I_r$  (Intensidade de radiação solar para a estação convencional de arrefecimento), são diferentes nas duas cidades. Daí haver uma maior diferença entre os valores obtidos, levando assim a maiores necessidades de arrefecimento pelo *EnergyPlus*.

Do ponto de vista geral, as diferenças obtidas entre os dois métodos de análise devem-se essencialmente às diferentes metodologias de cálculo adoptadas e aos dados climáticos associados. E, como foi anteriormente referido, enquanto o RCCTE se baseia numa análise estática, em que as trocas de calor são determinadas em regime permanente para as duas estações de referência, Verão e Inverno, o *EnergyPlus* baseia-se numa análise dinâmica, determinando as trocas de calor em cada instante da simulação.

#### **4.7 PROPOSTAS DE MELHORIA COM BASE NA VARIAÇÃO DE MATERIAIS E SISTEMA CONSTRUTIVO**

Após a análise do comportamento térmico da fracção autónoma, através do regulamento RCCTE e do *software EnergyPlus*, neste subcapítulo são efectuadas novas análises térmicas, à mesma fracção autónoma, mas com materiais e soluções construtivas diferentes na sua envolvente. Pretende-se assim otimizar a eficiência energética da fracção autónoma, através da aplicação de soluções e materiais mais sustentáveis, de modo a possibilitar uma poupança na factura energética.

Deste modo, analisou-se o comportamento térmico da fracção autónoma associado a duas propostas de melhoria com base em materiais eco-eficientes, avaliando as necessidades energéticas e comparando-as com a solução base.

### Soluções construtivas e materiais eco-eficientes adoptados

Com o intuito de melhorar o desempenho energética da fracção autónoma foram adoptadas soluções sustentáveis e envidraçados e caixilhos mais eficientes.

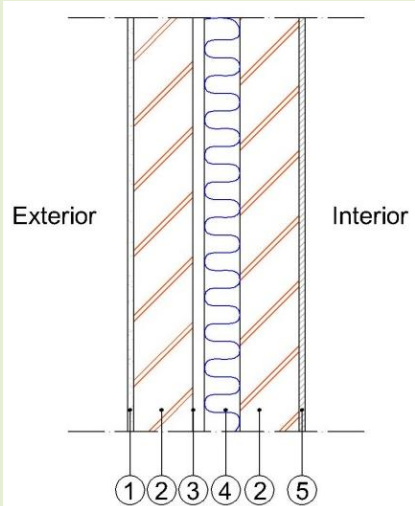
No caso dos envidraçados e caixilhos, considerou-se a utilização de um sistema mais eficiente e mais sustentável (Ecocontract), com valor de U igual a  $1,4 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , composto por vidro duplo incolor com espaço de ar preenchido com gás árgon e caixilharia em madeira, por oposição aos caixilhos de alumínio da solução base.

Em relação às soluções construtivas, adoptaram-se soluções que contemplam o aumento do isolamento térmico no interior de uma parede dupla e a utilização de isolamento térmico pelo exterior (ETICS).

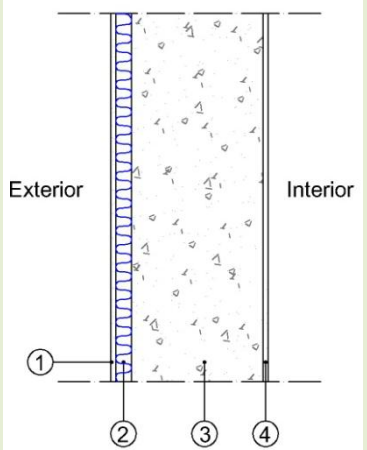
Nos Quadros 4.16 e 4.17 apresentam-se as soluções adoptadas, assim como os materiais e o valor do U da envolvente. Os materiais utilizados encontram-se referenciados no ponto 3.4 da presente dissertação.

Em ambas as soluções apresentadas, solução 1 e solução 2, também fazem parte da sua constituição os vãos envidraçados Ecocontract.

**Quadro 4.16 - Descrição das soluções construtivas adoptadas - solução 1**

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	DESCRIÇÃO	PRODUTOS	U [W/ m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior (zc)</b> 	1. Reboco de argamassa de cimento (0,01 m)	Eco-cement	0,47
	2. Blocos de terra comprimida (0,10 m)	Bradstone EnviroMasonry	
	3. Caixa-de-ar (0,02 m)	-	
	4. Isolamento de fibras de madeira (0,06 m)	Jular	
	5. Placa de gesso cartonado (0,01 m)	Knauf	

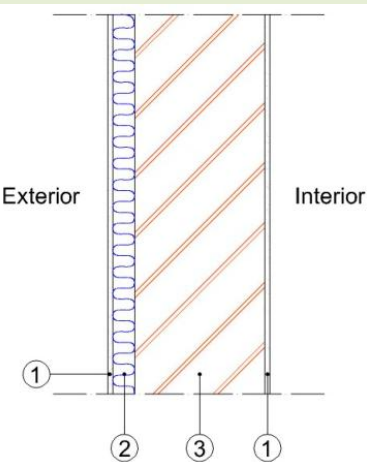
(Continuação do Quadro 4.16)

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	DESCRIÇÃO	PRODUTOS	U [W/ m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior (ptp)</b> 	1. Reboco de argamassa de cimento (0,01 m)	Eco-cement	0,87
	2. Isolamento de fibras de madeira (0,03 m)	Jular	
	3. Betão reciclado (0,25 m)	Limecrete	
	4. Placa de gesso cartonado (0,01 m)	Knauf	

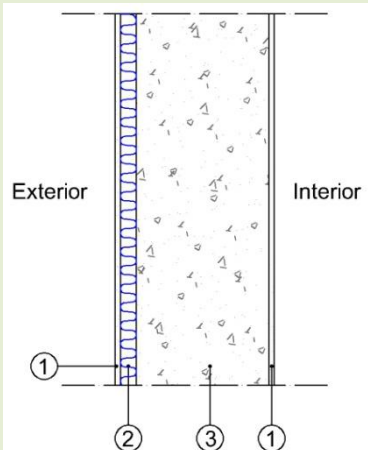
Os materiais utilizados nesta solução são mais eficientes no seu conjunto, mas o facto de possuir maior espessura de isolamento térmico relativamente à solução base pode influenciar os resultados finais.

É de salientar que os materiais utilizados na solução 1, para além de serem todos ecológicos, são mais eficientes, à excepção dos tijolos solo-cimento, pois estes apresentam menor resistência térmica em relação aos tijolos tradicionais.

**Quadro 4.17 - Descrição das soluções construtivas adoptadas - solução 2**

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	DESCRIÇÃO	PRODUTOS	U [W/ m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior (zc)</b> 	1. Reboco de argamassa de cal (0,01 m)	Limetec	0,28
	2. Isolamento de aglomerado de cortiça (0,04 m)	Amorim Isolamentos	
	3. Tijolo cerâmico (0,24 m)	Thermoplan	

(Continuação do Quadro 4.17)

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	DESCRIÇÃO	PRODUTOS	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior (ptp)</b> 	1. Reboco de argamassa de cal (0,01 m)	Limetec	0,93
	2. Isolamento de aglomerado de cortiça (0,03 m)	Amorim Isolamentos	
	3. Betão reciclado (0,25 m)	Limecrete	

## 4.8 ANÁLISE DE RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

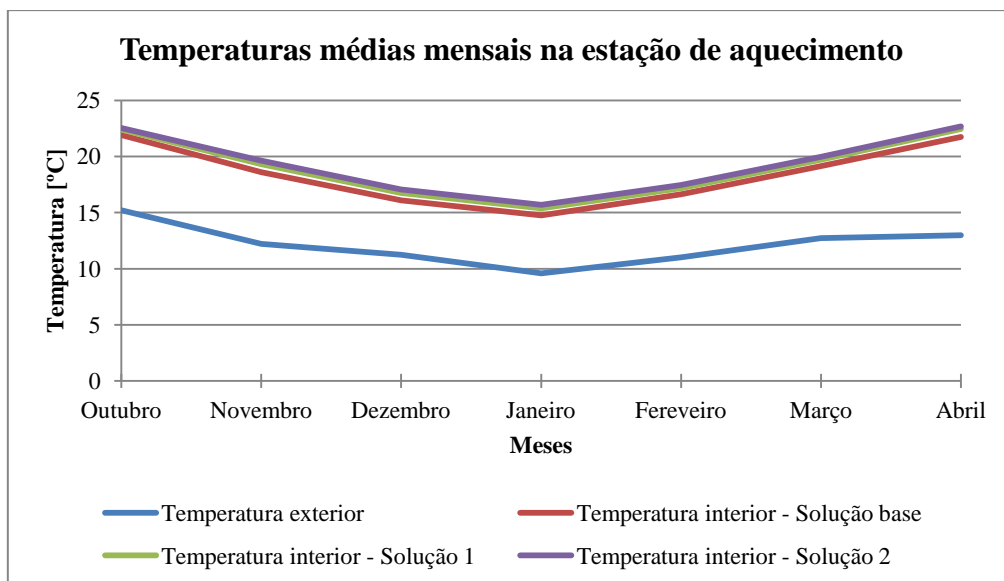
Após a aplicação das diferentes propostas com vista a melhorar o desempenho térmico da fracção, são de seguida apresentados e analisados os resultados obtidos, comparando-os com a solução base.

É de salientar que todos os resultados apresentados resultam unicamente do *software EnergyPlus*.

### 4.8.1 Variação da temperatura interior

De modo a analisar o comportamento térmico da fracção autónoma em estudo, através da aplicação da solução base e das soluções propostas, é necessário analisar a evolução das temperaturas interiores e exteriores nos dias extremos de Inverno e Verão. A obtenção das temperaturas interiores é realizada sem sistemas de climatização.

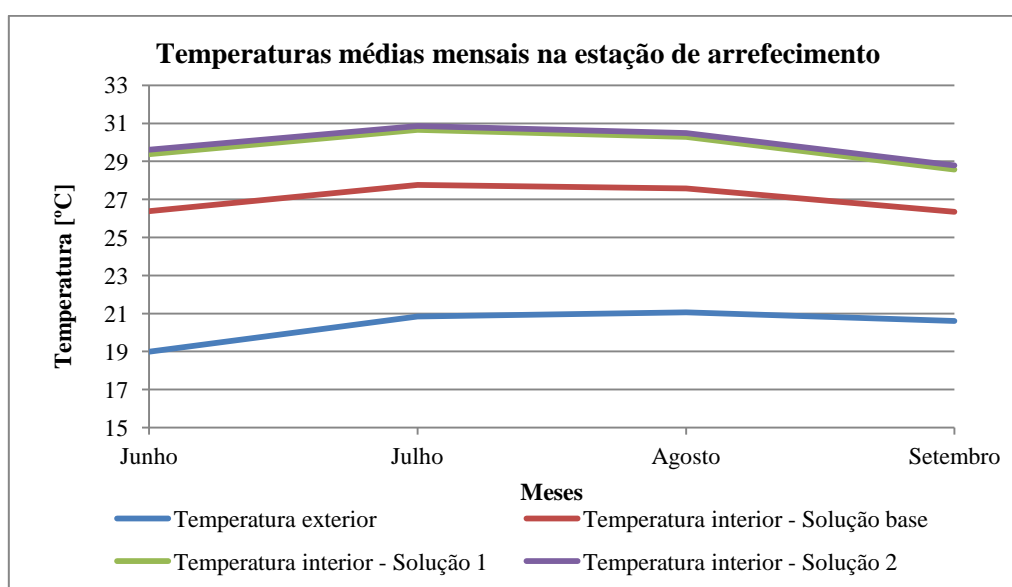
Nas figuras seguintes são apresentadas as variações das temperaturas da solução base e das soluções propostas (solução 1 e solução 2).



**Figura 4.8 - Temperaturas médias mensais na estação de aquecimento**

Observando a Figura 4.8 pode-se verificar que as temperaturas médias mensais interiores são sempre superiores à temperatura exterior e que as temperaturas interiores correspondentes às soluções estudadas, aproximam-se mais dos valores de conforto, 20 °C, no início e no fim da estação.

Verifica-se ainda que, a solução que apresenta melhor comportamento térmico é a solução 2, composta por um sistema de ETICS e vãos envidraçados eficientes. Contudo, comparando todas as soluções, verifica-se uma diferença mínima entre as temperaturas interiores.

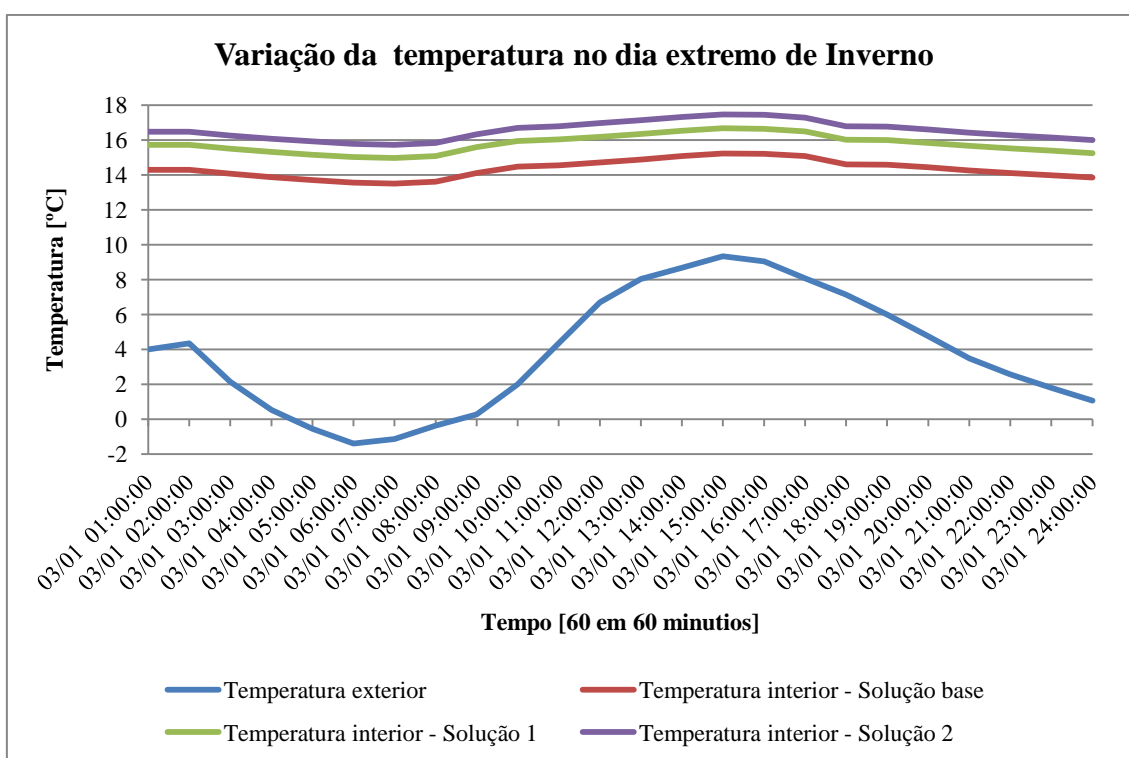


**Figura 4.9 - Temperaturas médias mensais na estação de arrefecimento**



Na Figura 4.9 verifica-se que na estação de arrefecimento, as temperaturas médias mensais interiores são sempre superiores à temperatura exterior, tal como acontece na estação de aquecimento. No entanto, neste caso a solução 2 é a que apresenta pior comportamento térmico, sendo a solução base a que se aproxima mais dos valores de conforto (25 °C), contudo apresentando sempre necessidades de arrefecimento.

De modo a se perceber melhor o comportamento térmico das soluções, na estação de aquecimento e arrefecimento, apresentam-se nas Figura 4.10 e 4.11 a evolução da temperatura interior ao longo de 24 horas nos dias extremos de Inverno (1 de Março) e Verão (10 de Agosto), respectivamente.

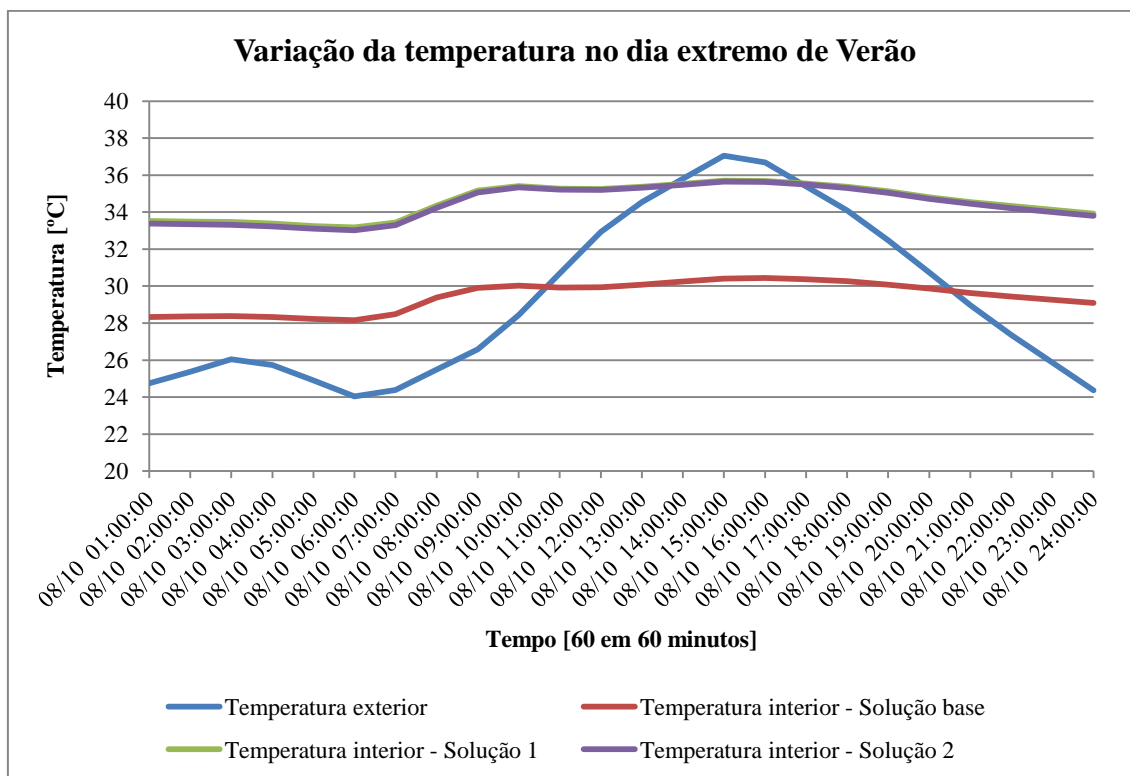


**Figura 4.10 - Variação da temperatura interior no dia extremo de Inverno (1 de Março)**

Na Figura 4.10 pode-se analisar que a temperatura interior é sempre superior à temperatura exterior, como já se tinha verificado anteriormente. A temperatura interior de todas as soluções estudadas apresentam menores amplitudes térmicas quando comparada com a temperatura exterior. Este comportamento justifica-se pelo facto de todas as soluções apresentarem uma elevada inércia térmica, sendo que a solução 2, por ser composta por um sistema de ETICS, apresenta melhor comportamento térmico. Deste modo, obtém-se um maior

aproveitamento dos ganhos úteis durante o dia, sendo o calor armazenado e libertado durante a noite.

É de notar que nos períodos nocturnos verificam-se maiores diferenças entre a temperatura interior e exterior, e que a temperatura interior para todas as soluções é inferior ao valor mínimo de referência indicado pelo RCCTE (20 °C).



**Figura 4.11 - Variação da temperatura interior no dia extremo de Verão (10 de Agosto)**

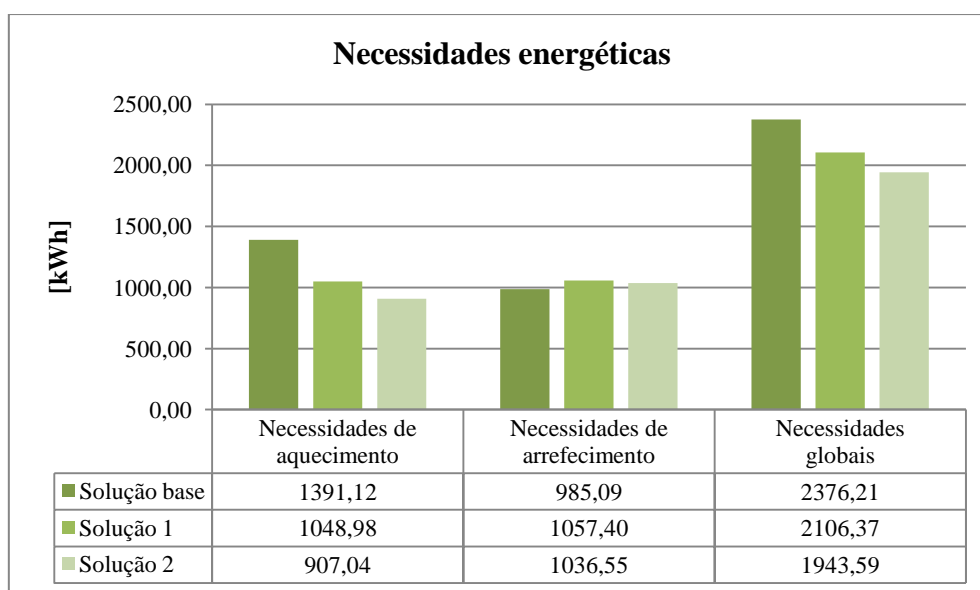
Analisando o comportamento térmico da fracção autónoma em estudo no dia extremo de Verão (10 de Agosto), verifica-se que devido à boa inércia térmica de todas as soluções, tal como acontece na estação de aquecimento, não se verificam grandes amplitudes térmicas no interior da fracção autónoma. Contudo, é perceptível que existem, para as soluções adoptadas (solução 1 e solução 2 com vãos envidraçados eficientes), elevadas necessidades de arrefecimento, uma vez que estas apresentam temperaturas interiores muito superiores ao valor de referência do RCCTE (25 °C). É durante o dia, mais propriamente entre as 13 horas e as 18 horas, que as temperaturas interiores das soluções propostas se aproximam mais da temperatura exterior.

Relativamente à solução base, que apresenta valores mais próximos do pretendido (25 °C), a temperatura interior é mais próxima da temperatura exterior entre as 21 horas e as 10 horas, ou seja, durante o período da noite e da manhã.

#### 4.8.2 Necessidades energéticas

Como no ponto anterior (4.7.1) se verificou que as temperaturas interiores se encontram fora do intervalo de conforto térmico (entre os 20 °C e os 25 °C), é relevante conhecer as necessidades energéticas através da utilização de sistemas de climatização.

Na Figura 4.12 são apresentados os resultados das necessidades de aquecimento e arrefecimento e das necessidades globais para cada uma das soluções propostas e da solução base.



**Figura 4.12 - Necessidades energéticas da solução base e das soluções propostas**

Analisando os resultados obtidos pode-se observar que a solução 2 é a solução mais eficiente, comparativamente com a solução base e a solução 1.

Com a aplicação da solução 1 foi possível diminuir as necessidades de aquecimento. Contudo, para a mesma solução, nas necessidades de arrefecimento verifica-se que houve um ligeiro aumento. Este comportamento deve-se essencialmente ao facto de existir uma redução nas perdas energéticas na estação de arrefecimento.

Apesar das necessidades de arrefecimento terem sido agravadas, as necessidades globais diminuíram, registando-se uma melhoria de 11,4% (269,84 kWh).

Relativamente aos resultados da solução 2, comparando com a solução base, verifica-se uma redução nas necessidades de aquecimento e um aumento das necessidades de arrefecimento, tal como acontece com a solução 1. Contudo, em termos globais, a segunda solução permite diminuir as necessidades globais, registando-se uma melhoria de 18,2% (432,62 kWh).

## 4.9 ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

O custo de construção é, por vezes, o factor mais relevante durante a opção de uma determinada solução construtiva.

Durante a tomada de decisão não se deve ter apenas em conta o custo de construção, mas todos os custos relacionados com o seu ciclo de vida (custos de operação, manutenção, reabilitação, demolição e eliminação). Outros factores a ter em conta são os factores ambientais (durabilidade dos materiais, recursos naturais utilizados, entre outros) e a viabilidade económica de soluções que aumentem a eficiência energética dos edifícios que, por vezes, são postos de parte. No entanto, é difícil de quantificar os factores ambientais. Neste sentido, apenas é feita uma análise custo-benefício que relaciona a eficiência energética com o custo de construção, de modo a determinar o período de retorno de investimento inicial da aplicação das diferentes soluções. Assim, é necessário conhecer o preço da energia pago à empresa distribuidora, que é de 0,1326 €/kWh.

No Quadro 4.18 apresenta-se um estudo de viabilidade económica, onde se apresentam os valores do período de retorno do investimento para as propostas de melhoria.

Os cálculos relativos aos custos de construção das diferentes soluções encontram-se detalhados no Anexo IV.

Quadro 4.18 - Viabilidade económica das propostas estudadas

	SOLUÇÃO BASE	SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2
<b>Custo total de investimento</b>	6312,46 €	7038,29 €	7600,44 €
<b>Custo anual da factura eléctrica</b>	315,09 €	279,31 €	264,41 €
<b>Poupança nas necessidades globais</b>	-	269,84 kWh	382,18 kWh
<b>Poupança anual na factura eléctrica</b>	-	35,78 €	50,68 €
<b>Acréscimo no custo total de investimento</b>	-	725,83 €	1287,98€
<b>Período de retorno do investimento</b>	-	20,3 anos	25,4 anos

Do Quadro 4.18, conclui-se que, quando é aplicada a solução 2, obtém-se uma maior poupança na factura eléctrica, quando comparado com a solução 1 e a solução base. Contudo, o

custo de construção dessa mesma solução (solução 2) é superior às restantes. Isso justifica-se pelo facto dos materiais utilizados nesta solução serem mais caros, assim como a mão-de-obra.

Relativamente ao período de retorno de investimento das soluções propostas, verifica-se que, quanto maior é o custo de acréscimo total de investimento, maior é o período de retorno, apesar de o valor de poupança energética ser maior, como é o que acontece na solução 2. Este facto faz com que a solução 2 tenha um período de retorno superior, de aproximadamente 5 anos, em relação à solução 1. No entanto, se o tempo de vida da fracção autónoma for superior ao período de retorno de investimento, com a aplicação de materiais eco-eficientes, a sua utilização compensa. Por exemplo, se as soluções propostas tiverem pelo menos um período de vida útil de 30 anos, a solução 1 e a solução 2, apresentam lucros relativamente próximos, ou seja, lucros de 347,59 € e 232,33 €, respectivamente, sendo a solução 1 mais favorável. Contudo, a solução 2 é mais benéfica quanto maior for o período de vida da habitação já que, apesar de ter um custo de investimento maior, ao fim de 38 anos passa a apresentar um maior retorno de investimento.



## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O sector da construção é responsável por uma parte considerável da degradação ambiental do planeta, em particular ao nível de emissões poluentes, do consumo de recursos naturais e do nível de consumos energéticos. A existência de materiais de construção mais sustentáveis e com menor nível de consumo energético, possibilita que a nível mundial o sector dos edifícios possa modificar a sua prestação, tornando-se relevante no mesmo, com a adopção de soluções construtivas mais ecológicas e, ao mesmo tempo, mais eficientes.

A fase de projecto é uma das fases mais importantes na concepção de um edifício no seu todo, pois é aqui que são definidos os materiais e os sistemas construtivos a implementar na obra, e que influenciam todo o ciclo de vida do mesmo edifício. Assim, a definição dos materiais e das soluções a utilizar é uma acção importante para o alcance da sustentabilidade que a sociedade pretende alcançar através da sua inclusão nas novas habitações.

Na presente dissertação desenvolveu-se uma pesquisa de materiais eco-eficientes e com base nesse levantamento foram propostas duas soluções construtivas, que através da aplicação de materiais eco-eficiente contribuiriam para o melhor desempenho energético de uma habitação. Assim, foi feita a análise de uma solução base pertencente a uma fracção autónoma de um edifício multifamiliar, comparando através do RCCTE e do *software EnergyPlus*.

Pela utilização do *EnergyPlus*, foram avaliadas as propostas de melhoria com aplicação de materiais eco-eficientes, sendo estas constituídas por parede dupla com isolamento térmico no seu interior e ETICS na envolvente exterior, ambas com envidraçados e caixilhos eficientes.

Através da análise da solução base pelos dois métodos de avaliação, conclui-se que, apesar de se utilizar os pressupostos definidos pelo RCCTE no *EnergyPlus*, os resultados obtidos foram muito diferentes. Assim, o facto de se terem utilizado os dados climáticos pertencentes a outro concelho, por falta de existência dos dados pertencentes ao concelho onde a fracção autónoma em estudo se insere, verificou-se que estes influenciam, e muito, na determinação das necessidades energéticas.

Com o gráfico elaborado para as necessidades energéticas das três soluções estudadas (Figura 4.12) comprovou-se que, com a implementação de soluções de materiais mais sustentáveis é possível consumir menos energia ao longo de todo o ano, garantindo uma temperatura entre os 20 °C e 25 °C face à solução tradicional inicial. Das duas soluções propostas a que permite reduzir mais o consumo de energia é a solução composta por sistema de ETICS (solução 2).

Porque no presente o valor económico é ainda uma condicionante à aplicação de materiais e soluções construtivas mais avançadas, procedeu-se à análise custo-benefício das

soluções, da qual foi possível concluir que as propostas de melhoria (solução 1 e solução 2) apresentam maiores custos de investimento, comparativamente com a solução base. Entre as duas soluções propostas, a solução 2 apresenta um maior custo de investimento. Contudo, em termos de poupança da factura energética, essa mesma solução (solução 2) apresenta uma maior economia nas contas de electricidade, situação que a torna como a mais sustentável.

Ao nível do período de retorno do investimento, a proposta mais equilibrada, apresentando um período de retorno menor, é a solução 1. Porém, quanto maior for o período de vida do edifício, maior é o retorno financeiro, sendo neste caso, a solução mais favorável a solução 2.

Com a análise deste caso de estudo foi possível comprovar que as soluções eco-eficientes contribuem para uma redução das necessidades energéticas globais e, em simultâneo, para o conforto e bem-estar no interior das habitações, com menores custos e menor impacto sobre o ambiente.

## **5.2 DESENVOLVIMENTO FUTURO DE TRABALHO**

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação foram abrangidas várias temáticas da construção sustentável e da sustentabilidade, abrangendo as preocupações existentes com o meio ambiente e o aumento do consumo energético mundial. Contudo, estes são assuntos extensos e não se extinguem com a realização da presente dissertação.

Deste modo, importa definir alguns assuntos cuja temática aconselha poderem vir a ter desenvolvimento em futuros trabalhos de investigação.

Neste trabalho tomou-se conhecimento de alguns materiais eco-eficientes, contudo, seria importante a continuação da investigação desses materiais, tornando assim cada vez mais extenso o seu conhecimento, e possibilitando, aos vários intervenientes do processo de concepção e construção de edifícios, uma maior utilização dos mesmos em soluções sustentáveis e energeticamente eficientes.

Outro desenvolvimento futuro seria a realização de um estudo de análise custo-benefício que tivesse em conta todos os custos relacionados com o ciclo de vida dos materiais aplicados e com os factores ambientais implícitos a estes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **PINHEIRO, Manuel D.** - *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006. Disponível em [http://www.lidera.info/resources/ACS\\_Manuel\\_Pinheiro.pdf](http://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf), consultado a 04/05/2011.
- [2] **LANHAM, A.; BRAZ, R.; GAMA, P.** - *Arquitectura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro*. Seminários de Inovação, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004. Disponível em: [http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio\\_Arq\\_Bioclimatica.pdf](http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio_Arq_Bioclimatica.pdf), consultado a 02/10/2011.
- [3] **TORGAL, Fernando P.; JALALI, Said** - *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho, 2010. ISBN: 978-972-8600-22-8.
- [4] **SINDING-LARSEN, R.; HOVLAND, M.; GLEDITSCH, N.** - *Recursos - a caminho de um uso sustentável*. Holanda, 2007. Disponível em [http://yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura6\\_web.pdf](http://yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura6_web.pdf), consultado a 03/06/2011.
- [5] **PORTAL DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL**. Portugal, s/d. Disponível em [http://www.csustentavel.com/index\\_cat.php?cat=14](http://www.csustentavel.com/index_cat.php?cat=14), consultado a 26/04/2011.
- [6] **TIRONE, Livia** - *Construção Sustentável, Soluções para uma prosperidade renovável*. Sintra, Tirone Nunes S.A., 2010. ISBN: 978-989-96913-0-8.
- [7] **MARTINS, Nuno** - *Arquitectura e ambiente amigos para sempre*. 2009. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/13345510/artigoConstrucao-Sustentavel>, consultado a 02/06/2011.
- [8] **DIRECTIVA 2002/91/CE**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias (04/01/2003) págs. 65-71, Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia. *Desempenho Energético dos Edifícios*.
- [9] **DINIS, R.; AMADO, M. P.** - *A Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Universidade Nova de Lisboa - FCT, Caparica.
- [10] **DGE, Direcção Geral de Energia** - *Eficiência Energética nos Edifícios*. Lisboa, Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, 2002. Disponível em <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/00000092/zaxpmqlrayniussffzenbctcmilxaxam/Efici%C3%AanciaEnerg%C3%A9ticaEdif%C3%ADcios.pdf>, consultado a 11/04/2011.
- [11] **European Commission** - *EU energy and transport in figure 2010*. Luxemburgo, 2010. ISBN: 978-92-79-13815-7. Disponível em [http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/doc/2010\\_energy\\_transport\\_figures.pdf](http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics/doc/2010_energy_transport_figures.pdf), consultado a 03/04/2011.
- [12] **JARDIM, Fátima M. G.** - *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2009.
- [13] **KEENAN, R.; GIKAS, A.** - *Eurostat, Environment and energy - Statistical aspects of the energy economy in 2008*. European Communities, 2009. ISSN: 1977-0316. Disponível em [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-SF-10-043/EN/KS-SF-10-043-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-10-043/EN/KS-SF-10-043-EN.PDF), consultado a 03/04/2011.

- [14] **ADENE, Agência para a Energia** - *Legislação nacional*. s/d. Disponível em <http://www.adene.pt>, consultado a 19/04/2011.
- [15] **DECRETO-LEI nº 79/2006**. Diário da República, 1ª Série-A, Nº 67 (04/04/2006) págs. 2416-2468. Ministério das Obras Publicas Transportes e Comunicações. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Lisboa.
- [16] **DECRETO-LEI nº 80/2006**. Diário da República, 1ª Série-A, Nº 67 (04/04/2006) págs. 2468-2513. Ministério das Obras Publicas Transportes e Comunicações. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Lisboa.
- [17] **OLIVEIRA, António** - *Avaliação da Qualidade Térmica de Edifícios, Proposta de Indicadores para o Projecto*. Tese de Mestrado, FEUP, Porto, 2007.
- [18] **TEIXEIRA, V.; CARNEIRO, J.; SILVA, E.; FIÚZA, C.** - *Soluções inovadoras para melhoria do desempenho energético de edifícios*. Universidade do Minho, s/d. Disponível em [http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter\\_n240/imagens/Dossier\\_Design\\_Inovacao.pdf](http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter_n240/imagens/Dossier_Design_Inovacao.pdf), consultado a 11/04/2011.
- [19] **AMADO, Miguel P. et al.** - *Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacucaco - Angola*. Lisboa, GEOPTU-FCT-UNL, 2009.
- [20] **GOMES, Miguel** - *Construção Sustentável - Contributo da Utilização da Parede Trombe*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa - FCT, Lisboa, 2011.
- [21] **BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method - BREEAM Multi-residential 2008**. Reino Unido, 2008. Disponível em [http://www.breeam.org/filelibrary/SD5064\\_2\\_0\\_BREEAM\\_Multi-Residential\\_2008.pdf](http://www.breeam.org/filelibrary/SD5064_2_0_BREEAM_Multi-Residential_2008.pdf), consultado a 02/05/2011.
- [22] **U.S. GREEN BUILDING COUNCIL**. U.S.A., 2010. Disponível em <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222>, consultado a 03/05/2011.
- [23] **LEED, Leadership in Energy & Environmental Design - LEED 2009 for New Construction and Major Renovations**. U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, USA, 2009. Disponível em <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=5546>, consultado a 03/05/2011.
- [24] **SILVA, Vanessa** - *Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica*. São Paulo, 2007. Disponível em [http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5\\_metodologias\\_de\\_avaliacao.pdf](http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5_metodologias_de_avaliacao.pdf), consultado a 03/05/2011.
- [25] **VIEIRA, L. A.; BARROS FILHO, M. N. M.** - *A emergência do conceito de Arquitectura Sustentável e os métodos de avaliação do desempenho ambiental de edificações*, vol.1, nº 3. Humanae, 2009.
- [26] **PINHEIRO, Manuel D.** - *LIDERA, Sistema de Avaliação da Sustentabilidade, Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade, Apresentação Sumária do Sistema de Avaliação Voluntário da Sustentabilidade da Construção, Versão para Ambientes Construídos (V2.00b)*. Lisboa, 2009. Disponível em [http://www.lidera.info/resources/LiderA\\_V2\\_00b.pdf](http://www.lidera.info/resources/LiderA_V2_00b.pdf), consultado a 04/05/2011.
- [27] **LUCAS, Vanessa** - *Construção Sustentável - Sistema de Avaliação e Certificação*. Tese de Mestrado, FCT - UNL, Lisboa, 2011.

- [28] **JOHN, V.; OLIVEIRA, D.; LIMA, J.** - *Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais*. São Paulo, 2007. Disponível em [http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-4\\_selecao\\_materiais.pdf](http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D2-4_selecao_materiais.pdf), consultado a 25/03/2011.
- [29] **ENERGYPLUS** - *Getting Started with EnergyPlus: Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus*. 2010. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>, consultado a 09/05/2011.
- [30] **EIRES, Rute** - *Materiais não convencionais para uma construção sustentável*. Universidade do Minho, 2006.
- [31] **BERGE, Bjorn** - *The Ecology of Building Materials*. Architectural Press, 2000. ISBN: 0-7506-5450-3.
- [32] **MATEUS, Ricardo** - *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2004.
- [33] **FERREIRA, José** - *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em <http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf>, consultado a 29/07/2011.
- [34] **BRAGANÇA, Luís** - *Princípios de desenho e metodologias de avaliação da sustentabilidade das construções*. Universidade do Minho, Guimarães, 2005. Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4943>, consultado a 4/08/2011.
- [35] **TORGAL, F. P.; JALALI, S.** - *Dossier eco-eficiência: Eco-eficiência dos Materiais de Construção*. Universidade do Minho, s/d. Disponível em [http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter\\_n224/imagens/Dossier\\_Eco-eficiencia.pdf](http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter_n224/imagens/Dossier_Eco-eficiencia.pdf), consultado a 21/05/2011.
- [36] **ANINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J.** - *Handbook of Sustainable Building, An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*. London, UK : James & James Limited, 1996. ISBN: I-873936-38-9.
- [37] **CAD, Companhia de Arquitectura e Design** - *Eco-Materiais: Cortiça*, nº 96. Portugal, 2010. Disponível em [http://209.161.96.127/PresentationLayer/ConcelhoUtil\\_01.aspx?id=66&CANAL\\_ORDEM=0302](http://209.161.96.127/PresentationLayer/ConcelhoUtil_01.aspx?id=66&CANAL_ORDEM=0302), consultado a 13/04/2011.
- [38] **Amorim Isolamentos** - *3ª Conferência Internacional sobre Isolamentos com Aglomerado de Cortiça Expandida*. s/d. Disponível em [http://www.apcmc.pt/publicacoes/Revista/Revista\\_151/img/evento\\_amorim.pdf](http://www.apcmc.pt/publicacoes/Revista/Revista_151/img/evento_amorim.pdf), consultado a 15/04/2011.
- [39] **CAD, Companhia de Arquitectura e Design** - *Eco-Materiais: Tintas Naturais*, nº 98. Portugal, 2010. Disponível em [http://209.161.96.127/PresentationLayer/ConcelhoUtil\\_01.aspx?id=68&CANAL\\_ORDEM=0302](http://209.161.96.127/PresentationLayer/ConcelhoUtil_01.aspx?id=68&CANAL_ORDEM=0302), consultado a 17/04/2011.
- [40] **GREENSPEC. U.K.**, s/d. Disponível em <http://www.greenspec.co.uk/>, consultado a 30/05/2011.

- [41] **Raiz Verde** - *Energias renováveis - construção e materiais ecológicos*. s/d. Disponível em <http://www.raizverde.pt/index.php/raiz-verde-energias-renovaveis-e-solucoes-amigas-do-ambiente-em-portugal/construcao?id=58>, consultado a 18/07/2011.
- [42] **BIOhabitat, construção ecológica** - *Isofloc*. Portugal, 2009. Disponível em [http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht\\_isofloc.pdf](http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_isofloc.pdf), consultado a 18/07/2011.
- [43] **COSTA, Márcio** - *Novos Produtos Para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Tese de Mestrado, FCT-UNL, Lisboa, 2010.
- [44] **TORGAL, F. P.; CASTRO-GOMES, J. P.; JALALI, S.** - *Tratamento Térmico das Lamas Residuais das Minas da Panasqueira: Influência do Tempo e da Temperatura de Calcinação*. Universidade da Beira Interior, 2005. Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4762>, consultado a 09/05/2011.
- [45] **GUEDES, Miguel P.** - *Construção em cal*. Portugal, 2009. Disponível em <http://www.miguelguedes.pt/arquitecturaesustentabilidade/material.php?id=8>, consultado a 17/04/2011.
- [46] **MATIAS, G.; TORRES, I.; FARIA, P.** - *Argamassas de substituição com resíduos de tijolo cerâmico*. Portugal, 2010. Disponível em [http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2085\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2085_2010.pdf), consultado a 25/09/2011.
- [47] **CUCHÍ, A.; LÓPEZ, F.; SAGREGA, A.; WADEL, G.** - *Ecomateriais*. 21ª Feira Internacional da Construção e Obras Públicas, Feira Internacional do Porto, s/d. Disponível em <http://www.ecomateriales.com/iindex.htm>, consultado a 13/04/2011.
- [48] **FUTUR ENG, Engenharia para Light Steel Framing** - *O aço e a sustentabilidade*. Portugal, s/d. Disponível em <http://futureng.wikidot.com/o-aco-e-a-sustentabilidade>, consultado a 20/04/2011.
- [49] **DOSSIER ECO-EFICIÊNCIA** - *Estudo Eco-Eficiência, Entrevistas, Novidades, Produtos*. Universidade do Minho, s/d. Disponível em [http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter\\_n178/imagens/dossier\\_ecoeficiencia.pdf](http://www.apcmc.pt/newsletter/newsletter_n178/imagens/dossier_ecoeficiencia.pdf), consultado a 26/04/2011.
- [50] **MEISEL, Ari** - *LEED Material A Resource guide to Green Building*. New York, EUA, Princeton Architectural, 2010. ISBN: 978-1-56898-885-6.
- [51] **MURTA, A.; VARUM, H.; PINTO, J.; BENTES, I.; PAIVA, A.; RAMOS, L.** - *Benefícios económicos e ambientais inerentes ao use de materiais estruturais em habitações unifamiliares*. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010. ISSN: 16 78-8621. Disponível em <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/12111/9714>, consultado a 25/05/2011.
- [52] **Norma Portuguesa - NP 1037-1:2002** - *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás, Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*. 2002.
- [53] **SANTOS, C.; MATIAS, L.** - *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* - ITE 50, LNEC, Lisboa, 2006.

## ANEXOS

### ANEXO I – PLANTA DA FRACÇÃO AUTÓNOMA EM ESTUDO

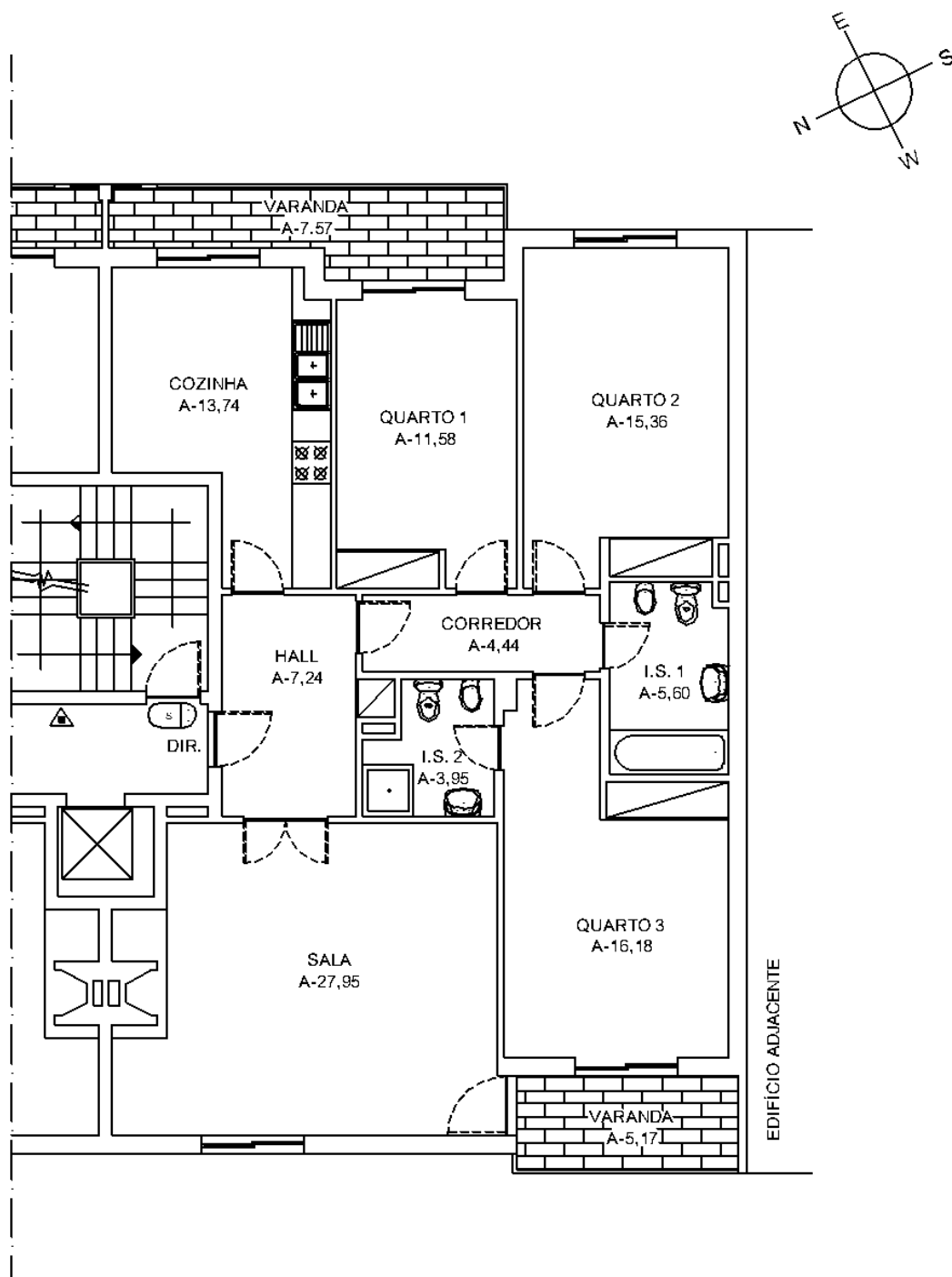


Figura I.1 - Planta da fracção autónoma em estudo

## ANEXO II – RCCTE

### Anexo II.1 – Determinação do coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos, $\tau$

As perdas térmicas entre locais aquecidos e não aquecidos, como é o caso das zonas de circulação comum e edifícios adjacentes, são calculadas em função do coeficiente  $\tau$ , que pode ser consultado na Tabela IV.1 do RCCTE, consoante o tipo de espaço não aquecido e da relação entre as áreas dos elementos que separam o local aquecido do local não aquecidos ( $A_i$ ) e as áreas dos elementos que separam o espaço não aquecido do exterior ( $A_u$ ).

No Quadro II.1 encontram-se determinadas as áreas dos elementos que separam os espaços úteis interiores do espaço não úteis ( $A_i$ ) e as áreas dos elementos que separam os espaços não úteis do ambiente exterior ( $A_u$ ), para todas as fracções autónomas e para todos os pisos.

Quadro II.1 - Determinação de  $A_i$  e  $A_u$

Envolventes	Tipo de espaço não útil	Pisos	$A_i$	$A_u$
Parede interior	Circulação comum sem abertura directa para o exterior	Pisos 1, 2, 3 e 4	216,49	-
Parede exterior	Circulação comum sem abertura directa para o exterior	r/c	-	6,05

No Quadro II.2 encontram-se determinados os valores do coeficiente  $\tau$  para os diferentes espaços não úteis, sendo que os únicos relevantes o caso em estudo serem o da circulação comum e do edifício adjacente.

Quadro II.2 - Determinação do coeficiente  $\tau$

Tipo de espaço não útil	$A_i/A_u$	$\tau$
Circulação comum sem abertura directa para o exterior	35,78	0
Edifício adjacente	-	0,6

## Anexo II.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico, U

Nos quadros abaixo apresentam-se os valores das resistências térmicas (R) das diferentes camadas que constituem as paredes exteriores e as suas respectivas espessuras, o valor da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) e ainda o valor do coeficiente de transmissão térmico da correspondente parede.

### Paredes exteriores

Para o caso das paredes exteriores, tanto em zona corrente como em ponte térmica plana, os valores das resistências térmicas superficiais exterior e interior são, respectivamente, de 0,04 e 0,13, uma vez que a direcção do fluxo de calor é horizontal.

Quadro II.3 - Coeficiente de transmissão térmico da parede exterior (ze) [53]

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,012
Tijolo cerâmico furado 11	0,11	-	0,270
Caixa-de-ar	0,03	-	0,180
Isolamento lã de rocha	0,04	0,04	1,000
Tijolo cerâmico furado 9	0,09	-	0,230
Reboco de estuque	0,015	0,57	0,026
Resistência superficial exterior, $R_{se}$ [m².°C/W]			0,04
Resistência superficial interior, $R_{si}$ [m².°C/W]			0,13
$\Sigma R$ [m².°C/W]			1,888
Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]			0,530

Quadro II.4 - Coeficiente de transmissão térmico da parede exterior (ptp) [53]

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,012
Betão armado	0,27	2,00	0,135
Reboco de estuque	0,015	0,57	0,026
Resistência superficial exterior, $R_{se}$ [m².°C/W]			0,04

(Continuação do Quadro II.4)

<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>	0,13
<b><math>\Sigma R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>	0,343
<b>Coefficiente de transmissão térmico, <math>U</math> [<math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math>]</b>	2,92

## Paredes interiores

Parede de separação das duas fracções autónomas e de separação da fracção autónoma com a zona de circulação comum

Para as paredes que separam locais aquecidos (fracção autónoma) dos locais não aquecidos (zona de circulação comum) e com direcção do fluxo de calor horizontal, tanto em zona corrente como em ponte térmica plana, a resistência térmica superficial exterior ( $R_{se}$ ) e interior ( $R_{si}$ ) toma valor de 0,13.

**Quadro II.5 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/zona de circulação comum (zc) [53]**

<b>Material</b>	<b>Espessura, <math>e</math> [m]</b>	<b>Condutibilidade térmica, <math>\lambda</math> [<math>W/m \cdot ^\circ C</math>]</b>	<b>Resistência térmica, <math>R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>
Reboco de estuque	0,01	0,57	0,018
Isolamento lã de rocha	0,03	0,04	0,750
Tijolo cerâmico furado 11	0,15	-	0,520
Reboco de estuque	0,01	0,56	0,018
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,13
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			1,565
<b>Coefficiente de transmissão térmico, <math>U</math> [<math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math>]</b>			0,64

**Quadro II.6 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/zona de circulação comum (ptp) [53]**

<b>Material</b>	<b>Espessura, <math>e</math> [m]</b>	<b>Condutibilidade térmica, <math>\lambda</math> [<math>W/m \cdot ^\circ C</math>]</b>	<b>Resistência térmica, <math>R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>
Reboco de estuque	0,01	0,57	0,018
Betão armado	0,18	2,00	0,090



(Continuação do Quadro II.6)

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Reboco de estuque	0,01	0,57	0,018
Resistência superficial exterior, $R_{se}$ [m².°C/W]			0,13
Resistência superficial interior, $R_{si}$ [m².°C/W]			0,13
$\Sigma R$ [m².°C/W]			0,385
Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]			2,60

#### Parede de separação da fracção autónoma com o edifício adjacente

Uma vez que o RCCTE considera que o edifício adjacente é um espaço não aquecido, os valores da resistência térmica superficial exterior e interior é de 0,13, tanto para zona corrente como para de ponte térmica plana, pois a direcção do fluxo de calor é horizontal e trata-se de uma zona de separação entre um local aquecido (fracção autónoma) e um local não aquecido.

**Quadro II.7 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/edifício adjacente (zc)**  
[53]

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,012
Tijolo cerâmico furado 24	0,24	-	0,560
Isolamento lã de rocha	0,03	0,04	0,750
Reboco de estuque	0,015	0,57	0,027
Resistência superficial exterior, $R_{se}$ [m².°C/W]			0,13
Resistência superficial interior, $R_{si}$ [m².°C/W]			0,13
$\Sigma R$ [m².°C/W]			1,608
Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]			0,62

**Quadro II.8 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/edifício adjacente (ptp) [53]**

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Reboco de argamassa	0,015	1,30	0,012
Betão armado	0,27	2,00	0,135
Reboco de estuque	0,015	0,57	0,026
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [m².°C/W]</b>			0,433
<b>Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]</b>			2,31

Parede de separação da fracção autónoma com a caixa de elevador

Igualmente neste caso, a resistência térmica superficial exterior e interior tem valor de 0,13, tanto em zona corrente como em ponte térmica plana, uma vez que a direcção do fluxo de calor é horizontal e trata-se de uma zona de separação entre um local aquecido (fracção autónoma) e um local não aquecido (caixa de elevador).

**Quadro II.9 - Coeficiente de transmissão térmico da parede interior de separação da FA/caixa de elevador [53]**

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Betão armado	0,18	2,00	0,090
Reboco de estuque	0,02	0,56	0,035
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [m².°C/W]</b>			0,385
<b>Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]</b>			2,60

**Caixa de estore**

No caso da caixa de estore, a resistência térmica superficial exterior e interior tem valor de 0,13, uma vez que a direcção do fluxo de calor é horizontal e trata-se de uma zona de separação entre um local aquecido (fracção autónoma) e um espaço de ar ventilado do interior da caixa de estore.

**Quadro II.10 - Coeficiente de transmissão térmico da caixa de estore (ptp) [53]**

<b>Material</b>	<b>Espessura, e [m]</b>	<b>Condutibilidade térmica, <math>\lambda</math> [W/m.°C]</b>	<b>Resistência térmica, R [m².°C/W]</b>
Isolamento lã de rocha	0,03	0,04	0,750
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [m².°C/W]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [m².°C/W]</b>			1,010
<b>Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]</b>			0,99

## **Anexo II.3 – Factores solares dos vãos envidraçados**

### **Estação de aquecimento (Inverno)**

#### Factor solar do vão envidraçado, $g_{\perp}$

Durante a estação de aquecimento, admitiu-se que os estores exteriores que protegem os vãos envidraçados encontram-se abertos durante o dia, de modo a otimizar a captação dos ganhos solares.

De acordo com o RCCTE, Quadro V.4, o factor solar dos vãos envidraçados ( $g_{\perp}$ ) tem valor igual a 0,63, uma vez que se admitiu que todos os vãos envidraçados são protegidos por cortinas interiores muito transparentes de cor clara.

#### Factor de obstrução, $F_s$

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f$$

O factor de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ) depende do ângulo do horizonte ( $\alpha$ ), da latitude e da orientação dos vãos envidraçados. Os ângulos do horizonte correspondentes a cada envidraçado e os respectivos factores de sombreamento (Tabela IV.5 do RCCTE) encontram-se no Quadro II.11.

O factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado ( $F_o$ ) é dado em função do ângulo da pala, da latitude e da orientação dos vãos envidraçados. Os ângulos e factor de sombreamento por elementos horizontais (Tabela IV.6 do RCCTE) encontram-se no Quadro II.11.

O factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado ( $F_f$ ) depende do ângulo das palas verticais e da orientação dos vãos envidraçados. Os seus ângulos e os factores de sombreamento por elementos verticais (Tabela IV.7 do RCCTE) encontram-se no Quadro II.11.

Nos casos onde não existam palas horizontais nem verticais para se contabilizar o efeito do sombreamento, segundo o RCCTE, deve ser considerado o valor de 0,90 para o produto  $F_o \times F_f$ .

O RCCTE estabelece ainda que o produto do factor de orientação ( $X_j$ ) (Quadro IV.4) pelo factor de obstrução não deve ser menor que 0,27.

**Quadro II.11 - Factor de obstrução na estação de aquecimento**

Vãos envidraçados	$\alpha$ (°)	$F_h$	Ângulo da pala horizontal (°)	$F_o$	Ângulo da pala vertical (°)	$F_f$	$F_o \times F_f \leq 0,9$	$F_s$	$X_j$	$F_s \times X_j \geq 0,27$		$F_s$ corrigido
Sala (SW)	25	0,78	66	0,490	82	0,790	0,39	0,30	0,84	0,25	0,27	0,32
Cozinha (SE)	10	0,96	32	0,743	34	0,859	0,64	0,61	0,84	0,51		0,61
					4	0,981	0,73	0,70		0,59		0,70
Quarto 1 (SE)	10	0,96	44	0,639	20	0,920	0,59	0,56	0,84	0,47		0,56
					30	0,880	0,56	0,54		0,45		0,54
Quarto 2 (SE)	19	0,89	0	1,000	5	0,995	0,90	0,80	0,84	0,67		0,80
Sala (NW)	19	0,96	0	1,000	0	1,000	0,90	0,86	0,33	0,29		0,86
Quarto 3 (NW)	18	0,96	44	0,639	35	0,873	0,56	0,54	0,33	0,18	0,27	0,82
					41	0,853	0,55	0,52		0,17	0,27	0,82

#### Fracção envidraçada, $F_g$

A fracção envidraçada traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia.

De acordo com o RCCTE, Quadro IV.5, e uma vez que a caixilharia dos envidraçados são de alumínio e sem quadricula,  $F_g = 0,70$ .

#### Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados, $F_w$

O factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados representa a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. No caso de vidros correntes duplos o valor de  $F_w$  toma valor 0,90.

## Estação de arrefecimento (Verão)

### Factor solar do vão envidraçado, $g_{\perp}$

Na estação de arrefecimento o regulamento estabelece que o factor solar do vão envidraçado ( $g_{\perp}$ ) deve ser tomado com dispositivos de sombreamento móveis activados a 70%. Assim, o factor solar do vão envidraçado é obtido pela seguinte expressão:

$$g_{\perp} = 0,3 \times g_{\perp v} + 0,7 \times g'_{\perp}$$

Em que:

$g_{\perp v}$  – Factor solar do envidraçado sem qualquer dispositivo de protecção solar;

$g'_{\perp}$  – Factor solar do vão envidraçado com protecção solar com protecção solar activada 100% e vidro incolor corrente.

Segundo o RCCTE, Tabela IV.4.1, o factor solar do vidro ( $g_{\perp v}$ ) tem valor de 0,78, dado que os vidros da fracção autónoma são duplos e incolores de 6 mm + 4 mm.

O factor solar dos vãos envidraçados com protecção solar activada 100% e vidro incolor corrente ( $g'_{\perp}$ ) tem valor igual a 0,04, uma vez que se admitiu que os dispositivos de protecção utilizados são persianas de réguas metálicas de cor clara (Quadro V.4 do RCCTE).

Assim,  $g_{\perp}$  é igual a 0,26.

### Factor de obstrução, $F_s$

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f$$

O factor de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ), na estação de arrefecimento, toma valor igual a 1, pois considera-se que a fachada do edifício em estudo não é sombreada.

O factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado ( $F_o$ ) é obtido pelo Quadro V.1 do RCCTE. Os seus respectivos ângulos e factor de sombreamento por elementos horizontais encontram-se no Quadro II.12.

O factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado ( $F_f$ ) é obtido pelo Quadro V.2 do RCCTE. Os seus e os factores de sombreamento por elementos verticais encontram-se no Quadro II.12.

**Quadro II.12 - Factor de obstrução na estação de arrefecimento**

Vãos envidraçados	$F_h$	Ângulo da pala horizontal (°)	$F_o$	Ângulo da pala vertical (°)	$F_f$	$F_o \times F_f \leq 0,9$	$F_s$
Sala (SW)	1,00	66	0,500	82	0,770	0,39	0,39
Cozinha (SE)	1,00	32	0,665	34	0,891	0,59	0,59
				4	0,988	0,66	0,66
Quarto 1 (SE)	1,00	44	0,577	20	0,940	0,54	0,54
				30	0,910	0,53	0,53
Quarto 2 (SE)	1,00	0	1,000	5	0,985	0,90	0,90
Sala (NW)	1,00	0	1,000	0	1,000	0,90	0,90
Quarto 3 (NW)	1,00	44	0,577	35	0,833	0,48	0,48
				41	0,801	0,46	0,46

#### Fracção envidraçada, $F_g$

De acordo com o RCCTE, Quadro IV.5, e uma vez que a caixilharia dos envidraçados são de alumínio e sem quadricula,  $F_g = 0,70$ .

#### Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados, $F_w$

Conforme o Quadro V.3 do RCCTE, em função da orientação e do tipo de vidro se define este factor para a estação de arrefecimento.

O factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados ( $F_w$ ), para vidros duplos orientados a SE, SW e NW,  $F_w$  é igual a 0,85.

## Anexo II.4 – Inércia térmica

No quadro seguinte apresentam-se, para a fracção autónoma do piso 3 direito as massas dos elementos dos envolventes situados do lado interior do isolamento térmico ( $m_t$ ), as áreas das superfícies interiores dos diferentes elementos ( $S_i$ ) e as correspondentes massas superficiais úteis ( $M_{si}$ ) dos elementos de construção intervenientes na inércia térmica interior bem como os respectivos factores de redução ( $r_i$ ). Indicam-se ainda as imposições regulamentares respeitantes à quantificação da inércia térmica ( $I_t$ ).

Quadro II.13 - Valores dos parâmetros para o cálculo da inércia térmica

Elementos da envolvente	$m_t$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Valor máximo regulamentar (kg/m <sup>2</sup> )	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$r$	$M_{si} \cdot S_i \cdot r$ (kg)
Parede Exterior (zc)	230	212	150	32,11	1	4815,94
Parede Exterior (ptp)	639	319,5	150	3,96	1	593,59
Parede interior de separação da FA com a zona de circulação comum/FA esquerdo (zc)	170	152	150	34,08	1	5112,51
Parede interior de separação da FA com a zona de circulação comum/FA esquerdo (ptp)	426	213	150	4,55	1	682,34
Parede interior de separação da FA/caixa de elevador (zc)	444	222	150	3,90	1	584,29
Parede de separação da FA/edifício adjacente (zc)					0	0,00
Parede de separação da FA/edifício adjacente (ptp)	639	319,5	150	5,49	1	824,23
Paredes interiores da FA	110	110	300	86,59	1	9524,66
Paredes interiores das I.S. da FA	140	140	300	14,90	1	2086,45
Pavimento interior (revestimento cerâmico)	60	60	300	23,29	1	1397,40
Pavimento interior (revestimento soalho flutuante)	52,5	52,5	300	82,75	1	4344,38
Tecto interior	476	476	300	106,04	0,75	23859,00
<b>TOTAL</b>						<b>53824,78</b>



A inércia térmica é dada por:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i \times r_i}{A_p} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Sendo o valor da área útil de pavimento ( $A_p$ ) igual a 106,04 m<sup>2</sup>, o valor da inércia térmica da fracção em estudo é de 507,59 kg/m<sup>2</sup>, logo a fracção autónoma apresenta uma classe de inércia térmica interior forte, pois segundo o Quadro VII.6 do RCCTE, o valor obtido é maior que 400 kg/m<sup>2</sup>.

## **Anexo II.5 – Determinação da taxa de renovação horária nominal, $R_{ph}$**

De acordo com o RCCTE, os edifícios que não se encontrem em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, a taxa de renovação horária nominal, é determinada de acordo com o Quadro IV.1, em função da exposição ao vento das fachadas do edifício (Quadro IV.2) e da permeabilidade ao ar da sua envolvente (classe da caixilharia, existência de caixas de estore e de dispositivos de admissão de ar nas fachadas).

Dado que o edifício se situa na cidade de Leiria, a classe de exposição ao vento é definida da seguinte maneira: Região A, rugosidade I e altura acima do solo entre 10 m e 18 m. Assim, a classe de exposição ao vento das fachadas é Exposição 1.

A permeabilidade ao ar das janelas da fracção autónoma em estudo depende da classe da caixilharia e da existência de caixa de estore. Uma vez que a classe da caixilharia não tem classificação, pois esta deve ser atribuída após ensaios, e todas as janelas dispõem de caixa de estore, a taxa de renovação horária nominal é de  $1,00 \text{ h}^{-1}$ , tendo em conta que não existem dispositivos de admissão de ar nas fachadas.

Contudo, o RCCTE diz que “quando a área de vãos envidraçados for superior a 15% da área útil de pavimento, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10” e “se todas as portas do edifício ou fracção autónoma forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalente em todo o seu perímetro, os valores indicados no quadro IV.1 para edifícios não conformes com a NP 1037-1 podem ser diminuídos de 0,05”. Deste modo, a taxa de renovação horária nominal a adoptar é  $R_{ph} = 1,05 \text{ h}^{-1}$ , pois a área de envidraçado é de 17% em relação à área útil de pavimento e a porta da fracção autónoma em estudo é vedada em todo o seu perímetro.

## Anexo II.6 – Folhas de cálculo do RCCTE

### Folha de cálculo FC IV.1a

#### Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U A (W/°C)
Quarto 2 (zc) - Orientação NE	1,185	0,53	0,63
Quarto 2 (ptp) - Orientação NE	0,126	2,92	0,37
Sala (zc) - Orientação SW	0,306	0,53	0,16
Sala (ptp) - Orientação SW	0,228	2,92	0,67
Cozinha (zc) - Orientação SW	0,544	0,53	0,29
Cozinha (zc) - Orientação SE	4,817	0,53	2,55
Cozinha (ptp) - Orientação SE	0,752	2,92	2,20
Quarto 1 (zc) - Orientação SE	2,756	0,53	1,46
Quarto 1 (ptp) - Orientação SE	1,245	2,92	3,64
Quarto 2 (zc) - Orientação SE	5,365	0,53	2,84
Sala (zc) - Orientação NW	13,010	0,53	6,90
Quarto 3 (zc) - Orientação NW	4,122	0,53	2,18
Quarto 3 (ptp) - Orientação NW	1,607	2,92	4,69
Caixa de estore (ptp)	2,517	0,99	2,49
		<b>Total</b>	31,06

Pavimentos Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U A (W/°C)
			0,00
			0,00
	0,00	<b>Total</b>	0,00

Coberturas Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	U A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
	0,00	<b>Total</b>	0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Desenv. B (m)	$\psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	$\psi$ B (W/ $^{\circ}$ C)
			0,00
			0,00
			0,00
<b>Total</b>			0,00

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	$\psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	$\psi$ B (W/ $^{\circ}$ C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada c/ pav. sobre garagem e desvão			0,00
Fachada com pavimentos intermédios	22,244	0,20	4,45
Fachada com cobertura			0,00
Fachada com varanda	10,617	0,40	4,25
Duas paredes verticais	2,600	0,20	0,52
Fachada com caixa de estore	8,910	0,00	0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	41,610	0,20	8,32
<b>Total</b>			18,95

Perdas pela envolvente exterior

(W/ $^{\circ}$ C)

<b>Total</b>	50,02
--------------	-------

**Folha de cálculo FC IV.1b**  
**Perdas associadas à envolvente interior**

<b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ</b>	<b>τ U A (W/°C)</b>
Zona de circulação comum - hall (zc)	5,55	0,64	0,00	0,00
Zona de circulação comum - hall (ptp)	1,16	2,60	0,00	0,00
Zona de circulação comum - cozinha (zc)	7,23	0,64	0,00	0,00
Zona de circulação comum - cozinha (ptp)	1,92	2,60	0,00	0,00
Zona de circulação comum - sala (zc)	1,66	0,64	0,00	0,00
Porta de entrada	1,74	1,61	0,00	0,00
Caixa de elevador - hall (zc)	0,38	2,60	0,00	0,00
Caixa de elevador - hall (ptp)	0,52	2,60	0,00	0,00
Caixa de elevador - sala (zc)	3,52	2,60	0,00	0,00
Edifício adjacente - Quarto 2 (zc)	10,96	0,62	0,60	4,08
Edifício adjacente - Quarto 2 (ptp)	2,32	2,31	0,60	3,21
Edifício adjacente - I.S. 1 (zc)	5,99	0,62	0,60	2,23
Edifício adjacente - I.S. 1 (ptp)	1,79	2,31	0,60	2,48
Edifício adjacente - Quarto 3 (zc)	9,77	0,62	0,60	3,64
Edifício adjacente - Quarto 3 (ptp)	1,39	2,31	0,60	1,93
<b>Total</b>				<b>17,55</b>

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ</b>	<b>τ U A (W/°C)</b>
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
<b>Total</b>				<b>0,00</b>

<b>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ</b>	<b>τ U A (W/°C)</b>
				0,00
				0,00
				0,00
<b>Total</b>				<b>0,00</b>

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	τ	τ U A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
<b>Total</b>				0,00

Pontes térmicas (para espaços não-úteis)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ	τ ψ B (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
<b>Total</b>				0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

<b>Total</b>	17,55
--------------	-------

**Folha de cálculo FC IV.1c**

**Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores**

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U A (W/°C)</b>
<b>Verticais:</b>			
Sala - Orientação SW	1,83	2,50	4,59
Cozinha - Orientação SE	3,29	2,50	8,23
Quarto 1 - Orientação SE	3,29	2,50	8,23
Quarto 2 - Orientação SE	2,95	2,50	7,38
Sala - Orientação NW	2,95	2,50	7,38
Quarto 3 - Orientação NW	3,29	2,50	8,23
<b>Horizontais:</b>			
			0,00
			0,00
			0,00
	17,614	<b>Total</b>	44,04

**Folha de cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à renovação de ar**

<b>Área Útil de Pavimento</b>	x	106,04	(m <sup>2</sup> )
<b>Pé-direito médio</b>	x	2,6	(m)
	=		
<b>Volume interior (V)</b>		275,70	(m <sup>3</sup> )

**VENTILAÇÃO NATURAL**

**Cumpra a NP 1037-1?** (S ou N) N se SIM: RPH = 0,6

**Se NÃO:**

<b>Classe da Caixilharia</b>	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c	Taxa de Renovação Nominal:   RPH= <span style="border: 1px solid black; padding: 0 10px;">1,05</span>
<b>Caixas de Estore</b>	(S ou N)	S	
<b>Classe de Exposição</b>	(1, 2, 3 ou 4)	1	
<b>Aberturas auto-reguláveis?</b>	(S ou N)	N	
<b>Área de envidraçados &gt;15% Ap?</b>	(S ou N)	S	
<b>Portas Exteriores bem vedadas?</b>	(S ou N)	S	

<b>Volume</b>	x	275,70	
<b>Taxa de Renovação Nominal</b>	x	1,05	
	x	0,34	
	=		
<b>Total</b>		98,43	(W/°C)



### Folha de cálculo FC IV.1e

#### Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

##### Ganhos Solares:

Orientação	Tipo (simples ou duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de orientação X <sub>j</sub> (-)	Factor solar g <sup>^</sup> (-)	F <sub>s</sub> (-) F <sub>h</sub> ·F <sub>o</sub> ·F <sub>f</sub>	F <sub>g</sub> (-)	F <sub>w</sub> (-)	A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )
Env. SW - sala	duplo	1,83	0,84	0,63	0,32	0,70	0,90	0,20
Env. SE - cozinha	duplo	3,29	0,84	0,63	0,70	0,70	0,90	0,77
Env. SE - quarto 1	duplo	3,29	0,84	0,63	0,54	0,70	0,90	0,59
Env. SE - quarto 2	duplo	2,95	0,84	0,63	0,80	0,70	0,90	0,79
Env. NW - sala	duplo	2,95	0,33	0,63	0,86	0,70	0,90	0,33
Env. NW - quarto 3	duplo	3,29	0,33	0,63	0,82	0,70	0,90	0,35

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m <sup>2</sup> )			3,03
			x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sol</sub> )			
na zona	I2	(kWh/m <sup>2</sup> .mês)	93,00
			x
Duração da estação de aquecimento (meses)			6,00
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)			1690,76

##### Ganhos Internos:

Ganhos internos médios	4,00	(W/m <sup>2</sup> )
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	6,00	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	106,04	(m <sup>2</sup> )
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1832,37	(kWh/ano)

### Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	3523,13
Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	8115,63

**Inércia do edifício:**   
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

a =   $\gamma$  =

**Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos**

( $\eta$ )

x

**Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos**

=

**Ganhos Úteis Totais  
(kWh/ano)**

# Folha de cálculo FC IV.1f

## Valor máximo das necessidades de aquecimento ( $N_i$ )

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		0,00
Coberturas exteriores		0,00
Pavimentos exteriores		0,00
Envidraçados exteriores		17,61
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, $A \cdot \tau$ )	17,61
Paredes interiores		19,33
Coberturas interiores		0,00
Pavimentos interiores		0,00
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		36,94
		/
Volume (de FCIV.1d):		275,70
		=
Factor de forma FF		0,13
<hr/>		
Graus-dias no local (°C.dia)		1610,00
		Auxiliar
$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	Para $FF \leq 0,5$	68,10
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$	Para $0,5 < FF \leq 1$	46,29
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}] (1,2 - 0,2FF)$	Para $1 < FF \leq 1,5$	54,31
$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$	Para $FF > 1,5$	114,90

Necessidades Nominais de Aquecimento  
Máximas -  $N_i$  (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

68,10

## Folha de cálculo FC IV.2

### Cálculo do indicador $N_{ic}$

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	(W/°C)
<b>Envolvente Exterior</b> (de FCIV.1a)	50,02
<b>Envolvente Interior</b> (de FCIV.1b)	17,55
<b>Vãos Envidraçados</b> (de FCIV.1c)	44,04
<b>Renovação de ar</b> (de FCIV.1d)	98,43

	=
<b>Coefficiente Global de Perdas</b> (W/°C)	210,03
	x
<b>Graus-dias no Local</b> (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
<b>Necessidades Brutas de Aquecimento</b> (kWh/ano)	8115,63
	-
<b>Ganhos Totais Úteis</b> (kWh/ano) (de FCIV.1e)	3462,42
	=
<b>Necessidades de Aquecimento</b> (kWh/ano)	4653,22
	/
<b>Área Útil de Pavimento</b> (m <sup>2</sup> )	106,04
	=
<b>Nec. Nominais de Aquecimento - <math>N_{ic}</math></b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	43,88
	≤
<b>Nec. Nominais de Aquec. Máximas - <math>N_i</math></b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	68,10

**REGULAMENTAR**

## Folha de cálculo FC V.1a

### Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	31,03	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	44,04	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	98,43	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais		173,49	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento	19,00	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	6,00	
	x	
Perdas específicas totais	173,53	(W/°C)
	x	
	2,93	
	=	
Perdas térmicas totais	3048,51	(kWh)

**Folha de cálculo FC V.1c**  
**Ganhos solares pela envolvente opaca**

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
Orientação	PE <sub>zc</sub> NE	PE <sub>ptp</sub> NE	PE <sub>zc</sub> SW	PE <sub>ptp</sub> SW	PE <sub>zc</sub> SE	PE <sub>ptp</sub> SE	PE <sub>zc</sub> NW	PE <sub>ptp</sub> NW
A (m <sup>2</sup> )	1,19	0,13	0,85	0,23	12,95	2,00	17,13	1,61
	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,53	2,92	0,53	2,92	0,53	2,92	0,53	2,92
	x	x	x	x	x	x	x	x
$\alpha$	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	=	=	=	=	=	=	=	=
$\alpha$ .U.A (W/°C)	0,25	0,15	0,18	0,27	2,75	2,34	3,63	1,88
	x	x	x	x	x	x	x	x
I <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	300,00	300,00	430,00	430,00	430,00	430,00	300,00	300,00
	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	3,03	1,82	3,10	4,62	47,22	40,18	43,58	22,57
Total (kWh)							166,11	

**Folha de cálculo FC V.1d**  
**Ganhos solares pelos envidraçados exteriores**

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL						
Orientação	Sala SW	Cozinha SE	Quarto 1 SE	Quarto 2 SE	Sala NW	Quarto 3 NW
A (m <sup>2</sup> )	1,83	3,29	3,29	2,95	2,95	3,29
	x	x	x	x	x	x
g <sub>L</sub>	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
	x	x	x	x	x	x
F <sub>g</sub>	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x
F <sub>s</sub> = F <sub>h</sub> F <sub>o</sub> F <sub>t</sub>	0,39	0,66	0,53	0,90	0,90	0,48
	x	x	x	x	x	x
F <sub>w</sub>	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, A <sub>e</sub>	0,11	0,34	0,27	0,41	0,41	0,24
	x	x	x	x	x	x
I <sub>r</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	430,00	430,00	430,00	430,00	300,00	300,00
	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores	47,48	144,44	115,99	176,61	123,22	73,29
	Total (kWh)					681,03

### Folha de cálculo FC V.1e

#### Ganhos internos

<b>Ganhos Internos médios</b> (W/m <sup>2</sup> )	4,00	
	x	
<b>Área Útil de Pavimento</b> (m <sup>2</sup> )	106,04	
	x	
	2,93	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	1241,94	(kWh)



**Folha de cálculo FC V.1f**

**Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)**

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b> (FCV.1d)	<b>681,03</b>	(kWh)
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b> (FCV.1c)	<b>166,11</b>	(kWh)
	+	
<b>Ganhos internos</b> (FCV.1e)	<b>1241,94</b>	(kWh)
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>2089,09</b>	(kWh)

### Folha de cálculo FC V.1g

#### Valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ )

<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	2089,09	(kWh)
	/	
<b>Perdas Térmicas Totais</b> (FCV.1a)	3048,51	(kWh)
	=	
<b>Relação Ganhos-Perdas <math>\gamma</math></b>	0,69	
<b>Inércia do edifício</b> ( <i>In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3</i> )	3,00	

	1,00	
	-	
<b>Factor de utilização dos ganhos solares, <math>\eta</math></b>	0,93	
	=	
	0,07	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)	2089,09	(kWh)
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	156,35	(kWh/ano)
	+	
<b>Consumo dos ventiladores</b>	0,00	
	=	
<b>Total</b>	156,35	(kWh/ano)
	/	
<b>Área Útil de Pavimento (<math>m^2</math>)</b>	106,04	
	=	
<b>Necessidades Nominiais de Arrefecimento - <math>N_{vc}</math></b>	1,47	(kWh/ $m^2$ .ano)
	$\leq$	
<b>Necessidades Nominiais de Arref. Máximas - <math>N_v</math></b>	16,00	(kWh/ $m^2$ .ano)

**REGULAMENTAR**

### ANEXO III - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

Nos quadros seguintes apresentam-se os valores das resistências térmicas ( $R$ ) das diferentes camadas que constituem as envolventes exteriores e as suas respectivas espessuras, o valor da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) e ainda o valor do coeficiente de transmissão térmico da correspondente parede.

Como se trata de paredes exteriores, os valores das resistências térmicas superficiais exterior e interior são, respectivamente, de 0,04 e 0,13 [53], uma vez que a direcção do fluxo de calor é horizontal.

Devido à falta de informação da condutibilidade térmica de alguns materiais eco-eficientes, alguns dos valores utilizados correspondem aos valores apresentados pelo ITE 50 [53], o que pode não corresponder à realidade.

**Quadro III.1 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 1 (zc)**

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Argamassa de cimento	0,01	1,30 [53]	0,008
Blocos de terra comprimida	0,10	1,33	0,075
Caixa-de-ar	0,02	-	0,175 [53]
Isolamento de fibras de madeira	0,06	0,038	1,579
Blocos de terra comprimida	0,10	1,33	0,075
Placa de gesso cartonado	0,01	0,16	0,063
Resistência superficial exterior, $R_{se}$ [m².°C/W]			0,04
Resistência superficial interior, $R_{si}$ [m².°C/W]			0,13
$\Sigma R$ [m².°C/W]			2,145
Coeficiente de transmissão térmico, U [W/ m².°C]			0,470

**Quadro III.2 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 1 (ptp)**

Material	Espessura, e [m]	Condutibilidade térmica, $\lambda$ [W/m.°C]	Resistência térmica, R [m².°C/W]
Argamassa de cimento	0,01	1,30 [53]	0,008
Isolamento de fibras de madeira	0,03	0,038	0,789
Betão armado reciclado	0,25	2,00 [53]	0,125
Placa de gesso cartonado	0,01	0,16	0,063

(Continuação do Quadro III.2)

<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>	0,04
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>	0,13
<b><math>\Sigma R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>	1,155
<b>Coefficiente de transmissão térmico, <math>U</math> [<math>W/ m^2 \cdot ^\circ C</math>]</b>	0,87

**Quadro III.3 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 2 (zc)**

<b>Material</b>	<b>Espessura, <math>e</math> [m]</b>	<b>Condutibilidade térmica, <math>\lambda</math> [<math>W/m \cdot ^\circ C</math>]</b>	<b>Resistência térmica, <math>R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>
Argamassa de cal	0,01	0,80 [53]	0,013
Isolamento de aglomerado de cortiça	0,04	0,04	1,000
Tijolo cerâmico	0,24	0,10	2,400
Argamassa de cal	0,01	0,80 [53]	0,013
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,04
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			3,595
<b>Coefficiente de transmissão térmico, <math>U</math> [<math>W/ m^2 \cdot ^\circ C</math>]</b>			0,280

**Quadro III.4 - Coeficiente de transmissão térmico da solução 2 (ptp)**

<b>Material</b>	<b>Espessura, <math>e</math> [m]</b>	<b>Condutibilidade térmica, <math>\lambda</math> [<math>W/m \cdot ^\circ C</math>]</b>	<b>Resistência térmica, <math>R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>
Argamassa de cal	0,01	0,80 [53]	0,013
Isolamento de aglomerado de cortiça	0,03	0,04	0,750
Betão armado reciclado	0,25	2,00 [53]	0,125
Argamassa de cal	0,01	0,80 [53]	0,013
<b>Resistência superficial exterior, <math>R_{se}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,04
<b>Resistência superficial interior, <math>R_{si}</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			0,13
<b><math>\Sigma R</math> [<math>m^2 \cdot ^\circ C/W</math>]</b>			1,070
<b>Coefficiente de transmissão térmico, <math>U</math> [<math>W/ m^2 \cdot ^\circ C</math>]</b>			0,93

## ANEXO IV - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

O cálculo dos custos das soluções e dos vãos envidraçados, materiais e mão-de-obra, foram obtidos pelo gerador de preços de construção CYPE, que tem como base valores de referência para a zona de Leiria.

Os custos totais das diferentes soluções encontram-se nos quadros apresentados abaixo.

Quadro IV.1 - Custo da solução base

SOLUÇÃO BASE		
Zona corrente	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cimento	4,73	151,93
Tijolo cerâmico furado	2,02	64,88
Isolamento lã de rocha	4,69	150,64
Tijolo cerâmico furado	1,85	59,42
Estuque projectado	3,11	99,89
Material auxiliar	3,04	97,64
Mão-de-obra	20,60	661,67
<b>TOTAL</b>		<b>1286,08</b>
Zona de ponte térmica plana	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cimento	4,73	43,04
Betão armado	183,37	1668,67
Estuque projectado	3,11	28,30
Mão-de-obra	22,07	200,84
<b>TOTAL</b>		<b>1940,85</b>

Quadro IV.2 - Custo dos vãos envidraçados da solução base

SOLUÇÃO BASE			
Vãos envidraçados	Unidade	€/unidade	Custo total (€)
Vidro duplo incolor 6-16-4	m <sup>2</sup>	34,19	601,74
Caixilharia de alumínio (sala)	un	230,01	230,01
Caixilharia de alumínio (sala e quarto 2)	un	323,39	646,78
Caixilharia de alumínio (quarto 1, quarto 3 e cozinha)	un	372,97	1118,91
Material auxiliar	-	-	46,82
Mão-de-obra	-	-	441,27
<b>TOTAL</b>			<b>3085,53</b>

Quadro IV.3 - Custo da solução 1

SOLUÇÃO 1		
Zona corrente	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cimento	4,96	159,32
Blocos de terra comprimida	5,04	161,88
Isolamento de fibras de madeira	11,43	367,13
Blocos de terra comprimida	5,04	161,88
Gesso cartonado	4,64	149,04
Material auxiliar	6,31	202,68
Mão-de-obra	23,41	751,93
<b>TOTAL</b>		<b>1953,86</b>
Zona de ponte térmica plana	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cimento	4,96	45,14
Isolamento de fibras de madeira	7,63	69,43
Betão reciclado	192,54	1752,10
Gesso cartonado	4,64	42,22
Material auxiliar	2,93	26,66
Mão-de-obra	24,30	221,13
<b>TOTAL</b>		<b>2156,69</b>

Quadro IV.4 - Custo da solução 2

SOLUÇÃO 2		
Zona corrente	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cal	6,30	202,36
Isolamento de aglomerado de cortiça	7,67	246,36
Tijolo cerâmico	10,06	323,13
Revestimento delgado + malha de fibra de vidro	14,84	476,66
Material auxiliar	5,85	187,90
Mão-de-obra	31,26	1004,07
<b>TOTAL</b>		<b>2440,48</b>
Zona de ponte térmica plana	€/m <sup>2</sup>	Custo total (€)
Argamassa de cal	6,30	114,66
Isolamento de aglomerado de cortiça	5,93	53,96
Betão reciclado	192,54	1752,10
Material auxiliar	0,79	7,19

(Continuação do Quadro IV.4)

<b>SOLUÇÃO 2</b>		
Mão-de-obra	33,44	304,30
<b>TOTAL</b>		<b>2232,22</b>

**Quadro IV.5 - Custo dos vãos envidraçados da solução 1 e 2**

<b>SOLUÇÃO 1 e 2</b>			
<b>Vãos envidraçados</b>	<b>Unidade</b>	<b>€/unidade</b>	<b>Custo total (€)</b>
Vidro duplo incolor 6-16 (gás árgon)-6	m <sup>2</sup>	51,16	900,42
Caixilharia de madeira (sala)	un	284,41	284,41
Caixilharia de madeira (sala e quarto 2)	un	292,67	585,34
Caixilharia de madeira (quarto 1, quarto 3 e cozinha)	un	292,67	892,11
Material auxiliar	-	-	46,82
Mão-de-obra	-	-	218,65
<b>TOTAL</b>			<b>2927,74</b>